

Grado Universitario en Ingeniería Mecánica
2017-2018

Trabajo Fin de Grado

“Estudio numérico de la respuesta frente a impacto balístico de laminados híbridos”

Alejandro Vélez Labrado

Tutor/es

Josué Aranda Ruíz

Aula 23C02, Leganés. 18 de octubre de 2018



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

La presente memoria corresponde al estudio del comportamiento frente a impacto balístico de laminados híbridos, constituidos por láminas de aluminio 6082-T6 y policarbonato. Para ello se ha desarrollado y validado un modelo numérico tridimensional en el software comercial de elementos finitos Abaqus/Explicit, capaz de simplificar el proceso de diseño de este tipo de elementos, cuyas aplicaciones en la industria se engloban en el ámbito de las protecciones personales y los blindajes de vehículos.

Para alcanzar dicho objetivo, se han empleado los datos experimentales obtenidos por el Dr. Marcos Rodríguez-Millán, en el laboratorio de la Universidad Carlos III de Leganés, para compararlos con los resultados de las simulaciones lanzadas con el programa previamente mencionado, y los obtenidos con el modelo numérico.

El objeto fundamental de la validación del modelo de Abaqus, es reducir el número de ensayos empíricos necesarios durante el proceso de diseño de elementos pertenecientes a las industrias previamente mencionadas, lo que supondría un gran ahorro económico. Por otro lado, con la validación del modelo numérico, se podrían realizar cálculos y aproximaciones previas, que redujesen el tiempo invertido en dicho proceso.

A lo largo de la presente memoria, se presentarán los datos obtenidos, así como una minuciosa investigación sobre el estado del arte en las industrias mencionadas, y los conceptos teóricos e ingenieriles aplicados tanto, por el programa, como en un proceso de diseño de estas características.

Por último, una vez validado el modelo en Abaqus, se plantearán algunos ensayos adicionales, con los que comprobar el comportamiento, no solo del material híbrido, sino también de la propia herramienta de simulación, ante estos nuevos esfuerzos a los que podría encontrarse sometido un elemento de protección personal o el blindaje de algún vehículo.

Palabras clave: Laminados híbridos; Impacto balístico; Blindaje; Simulación numérica.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todos los que me han acompañado y ayudado durante, no solo la elaboración de este trabajo, sino también a lo largo de toda mi etapa universitaria.

En primer lugar, quisiera expresar la mayor de las gratitudes a mis padres, Gervasio Vélez y Montserrat Labrado, sin cuyo apoyo no podría haber llegado hasta aquí. Gracias por apoyarme en todas mis decisiones y por vuestra dedicación, poniendo siempre a mi disposición todas las facilidades posibles y sobre todo, vuestro amor incondicional.

En segundo lugar, quisiera dar las gracias a mi tutor durante la elaboración del presente trabajo de fin de grado, el Dr. Josué Aranda Ruíz, quien no solo ha sido mi tutor en este proyecto, sino también en general a lo largo del grado.

Y por último y no por ello menos importante, a todos mis amigos de la infancia, por estar siempre conmigo, y a los grandes amigos que he hecho en la universidad: Carlos, Sancho, Luis, Jose, Julia, Elena... Pero por encima de todos a ellos a Sergio Marín Jiménez, con quien no podría haber tenido más suerte de cruzarme en esta vida

INDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivos.....	5
1.2	Estructura de la memoria	6
1.3	Estado del arte.....	6
1.3.1	Evolución histórica del blindaje en carros de combate.	6
1.3.2	Aplicación del blindaje en vehículos civiles.	15
1.3.3	Normativas y ensayos aplicados a vehículos blindados.	18
1.3.4	Evolución histórica del chaleco antibalas y materiales empleados.	25
1.3.5	Normativa y ensayos aplicados a los chalecos antibalas.	29
1.3.6	Otras protecciones personales.	32
1.3.7	Entrevista con la policía nacional.	34
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	36
2.1	Balística.	36
2.1.1	Impacto balístico.	38
2.1.2	Energía de impacto.	38
2.1.3	Presión de impacto.	39
2.1.4	Velocidades de impacto y efectos sobre el objetivo.	39
2.1.5	Efecto Ricochet.....	40
2.1.6	Inclinación del blindaje.	41
2.2	Comportamiento mecánico.	43
2.2.1	Caracterización mecánica: ensayo de tracción uniaxial.	43
2.2.2	Comportamiento elástico.....	43
2.2.3	Comportamiento elasto-plástico.....	47
2.2.4	Criterios de plastificación.....	49
2.3	Modelo de Johnson-Cook.	56
2.3.1	Comportamiento a rotura.....	58
2.4	Método de Elementos Finitos.	59
2.5	Estructura sandwich.....	60
3	MATERIALES Y DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	61
3.1	Aluminio 6082-T6.	61
3.2	Policarbonato.	65
3.3	Materiales más empleados hoy en día en blindajes y protecciones personales. 67	
3.3.1	Kevlar.	67

3.3.2	Aceros balísticos.....	68
3.4	Descripción del ensayo en el laboratorio.	69
4	MODELIZACIÓN DEL ENSAYO EN ABAQUS.	71
5	COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS E HIPÓTESIS.	79
5.1	Validación del modelo en Abaqus.	79
5.2	Ajuste a un modelo analítico.	84
5.3	Comparación del comportamiento a rotura.....	91
5.4	Conclusiones parciales.....	94
6	SIMULACIONES DE COMPORTAMIENTO ANTE DISTINTOS ESFUERZOS.	96
6.1	Variación geométrica del proyectil.....	96
6.2	Aplicación de esfuerzos explosivos.....	101
7	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FUTURAS	103
8	ENTORNO SOCIOECONÓMICO	106
9	BIBLIOGRAFÍA.....	108
ANEXO 1		
ANEXO 2		

INDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 PROPIEDADES DEL ALUMINIO 6082-T6 INTRODUCIDAS EN ABAQUS [44]	65
TABLA 3.2 PROPIEDADES DEL PC INTRODUCIDAS EN ABAQUS [46].....	66
TABLA 4.1 PROPIEDADES DEL ACERO INTRODUCIDAS EN ABAQUS [51] ..	73
TABLA 5.1 RESULTADOS VALIDACIÓN PC	79
TABLA 5.2 PORCENTAGE DE ERROR VALIDACIÓN PC.....	80
TABLA 5.3 RESULTADOS DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES MH	81
TABLA 5.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO PARA CADA CONFIGURACION	82
TABLA 5.5 PORCENTAGES DE ERROR SIMULACIÓN-EXPERIMENTAL	83
TABLA 5.6 POERCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN-NUMÉRICO CONFIG 185	
TABLA 5.7 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN-ANALÍTICO CONFIG 2. 86	
TABLA 5.8 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO CONFIG 3 87	
TABLA 5.9 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN-ANALÍTICO CONFIG 4. 88	
TABLA 5.10 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO CONFIG 5	89
TABLA 5.11 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO CONFIG 6	90
TABLA 6.1 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO PROYECTIL PLANO.....	99
TABLA 6.2 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO PROYECTIL HEMIESFÉRICO	99
TABLA 8.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO	107

INDICE DE GRÁFICAS

Graf. 5.1 Validación PC	79
Graf. 5.2 comportamiento simulado de las distintas configuraciones (MH).....	80
Graf. 5.3 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 1 ..	85
Graf. 5.4 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 2 ..	86
Graf. 5.5 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 3 ..	87
Graf. 5.6 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 4 ..	88
Graf. 5.7 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 5 ..	89
Graf. 5.8 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 6 ..	90
Graf. 6.1 Resultados simulación y ajuste analítico de los distintos proyectiles	98

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Dimensiones del proyectil [5]	4
Fig. 1.2 Renault FT-17 [7].....	7
Fig. 1.3 Mark IV británico [7]	7
Fig. 1.4 Panzer IV alemán [7].....	8
Fig. 1.5 Char B1 francés [7]	8
Fig. 1.6 T-34 soviético [7]	9
Fig. 1.7 KV-1 soviético [7].....	9
Fig. 1.8 T-34 soviético [7]	9
Fig. 1.9 IS-2 e IS-3 al fondo [7]	10
Fig. 1.10 T-64 soviético [7]	12
Fig. 1.11 Abrams, en Faluya [13]	14
Fig. 1.12 Cadillac Town Sedan de 1928 [16]	15
Fig. 1.13 Atentados terroristas entres noviembre de 2015 y enero de 2016 [17]	16
Fig. 1.14 Cadillac One [16]	17
Fig. 1.15 Audi A8 L Security [16].....	17
Fig. 1.16 Knigh XV [19]	18
Fig. 1.17 Niveles de protección NIJ 0108.01 [21].....	19
Fig. 1.18 Niveles de protección CEN 1063 [21]	19
Fig. 1.19 Ensayo balístico para determinar la certificación de blindaje según la EN-1063 [17]	20
Fig. 1.20 Norma EN-1063 completa [17].....	20
Fig. 1.21 Norma UL-752 [22]	21
Fig. 1.22 Normas EN-1522 y EN-1063 [17]	21
Fig. 1.23 Partes del blindaje de un vehículo acorazado [17].....	24
Fig. 1.24 Modificaciones realizadas, para blindar un vehículo convencional [17]	25
Fig. 1.25 Brewster Body Shield 1917-1918 [23]	26
Fig. 1.26 Stalnoy Nagrudnik 42 (SN-42) [23].....	27
Fig. 1.27 SN-42 [23].....	27
Fig. 1.28 Estructura molecular del Kevlar [25]	28
Fig. 1.29 Fibras de Kevlar [25].....	28
Fig. 1.30 Certificaciones, según la NIJ 0101.06 [17]	30
Fig. 1.31 Calibre y tamaño de los proyectiles soportados por los distintos niveles de protección, según la NIJ 0101.06 [17].....	30
Fig. 1.32 Ensayo balístico según NIJ-0101.06 [17]	31
Fig. 1.33 Chaleco sobre material de apoyo [17].....	31
Fig. 1.34 Medición de la deformación en el material de apoyo [17].....	31
Fig. 1.35 Estructura interna del chaleco antibalas [17]	32
Fig. 1.36 Evolución cascos de protección, cortesía del Teniente Coronel D. Javier Blanco Gómez, Ingeniero de armamento [17].....	33
Fig. 2.1 Ángulo a=ángulo de impacto u oblicuidad; ángulo b=ángulo de rebote [30]..	41
Fig. 2.2 Blindaje dispuesto en diferentes ángulos. Fuente: Lamo, J. (2014) [7]	42
Fig. 2.3 Blindaje compuesto del T-64 [7].....	42
Fig. 2.4 Ensayo de tracción simple [31]	43
Fig. 2.5 Curva tensión-deformación [31]	43

Fig. 2.6 Deformación y tensión ingenieril [31]	44
Fig. 2.7 Deformación y tensión verdaderas [31]	44
Fig. 2.8 Relación entre valores ingenieriles y verdaderos [31]	44
Fig. 2.9 Deformación en los ejes "x" e "y", según el efecto Poisson al aplicar una carga en el eje "z" [31]	45
Fig. 2.10 Estado tensional de un sólido [31]	45
Fig. 2.11 Leyes generalizadas de Hooke y Lamé [31]	46
Fig. 2.12 Variación de la curva tensión-deformación, en función de la temperatura [32]	47
Fig. 2.15 Efecto Bauschinger [35].....	49
Fig. 2.16 Tensiones principales [36]	49
Fig. 2.26 Representación estado cortante puro, según ambos criterios [36]	56
Fig. 3.1 Elemento aleantes y sus efectos sobre la aleación [43].....	62
Fig. 3.4 Tipos de tratamiento térmicos [43]	63
Fig. 3.5 Subdivisiones dentro del tipo de tratamiento térmico [43]	63
Fig. 3.6 Aplicaciones de las aleaciones de aluminio [43]	64
Fig. 3.7 Composición química del Aluminio 6082-T6 [43].....	64
Fig. 3.8 Reacción sintética del PC [45]	65
Fig. 3.9 Estructura martensítica [49]	69
Fig. 3.10 Ensayo en el laboratorio [5]	69
Fig. 3.11 Sujeción del material híbrido [5].....	70
Fig. 4.1 Unidades consistentes en ABAQUS [50].....	72
Fig. 4.2 Placa Al y PC	72
Fig. 4.3 Proyectoil Cónico	72
Fig. 4.4 Proyectoil cónico mallado en Abaqus	74
Fig. 4.5 Placa Al 6286-T6 y PC mallada	75
Fig. 4.6 Assembly completo para la simulación del ensayo.....	76
Fig. 4.7 Assembly completo para la validación del PC.....	78
Fig. 5.1 Estado de las placas tras el ensayo empírico (Config 2) [5]	91
Fig. 5.2 Placa 1 AA6082-T6 (Config 2).....	92
Fig. 5.3 Placa 2 PC (Config 2).....	92
Fig. 5.4 Placa 3 PC (Config 2).....	93
Fig. 5.5 Placa 4 AA 6082-T6 (Config 2).....	93
Fig. 6.1 Proyectoil hemiesférico.....	97
Fig. 6.2 Proyectoil plano o blunt	97
Fig. 6.4 Comportamiento simulado a rotura proyectoil plano (plugging).....	99
Fig. 6.3 Comportamiento simulado a rotura proyectoil plano (plugging).....	99
Fig. 6.5 Comportamiento simulado a rotura proyectoil hemiesférico (plugging + petalling)	100
Fig. 6.6 Comportamiento a rotura del PC ante esfuerzo explosivo.....	102
Fig. 6.7 Comportamiento a rotura del material híbrido ante esfuerzo explosivo	102
Fig. 7.1 Ensamblado del ensayo con proyectoil estandarizado de 9 mm	104
Fig. 7.2 Proyectoil estandarizado de 9 mm	104

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, las numerosas guerras y enfrentamientos bélicos entre distintos países, han promovido el crecimiento armamentístico y el desarrollo tecnológico en este ámbito, con la creación de armas de gran potencia y proyectiles de gran capacidad de penetración entre otros, cuyo objetivo era aumentar el poder de ataque de los distintos grupos o países en conflicto.

Pero como si de la ley de acción y reacción de Newton se tratase, el desarrollo del poder de ataque también promueve la evolución tecnológica de la capacidad defensiva, con el desarrollo de bunkers y vehículos blindados, así como protecciones corporales capaces de resistir el impacto de los potentes proyectiles anteriormente mencionados.

Todo esto, fomenta una carrera tecnológica entre empresas dedicadas a la fabricación de blindajes y protecciones, y las que se dedican a desarrollar proyectiles y armas capaces de vencer dicho blindaje. Por consiguiente, se generan en la misma medida seguridad y peligros, debidos a la continua evolución tanto de elementos de protección, como de armas cada vez más potentes y proyectiles con mayor capacidad de penetración.

Hoy en día la situación en Oriente medio, y los distintos atentados terroristas que se han vivido por todo el mundo, han impulsado el desarrollo de nuevos materiales de defensa ante este tipo de amenazas. En consecuencia, los ensayos de impactos sobre un sólido están en auge, ganando cada vez más importancia y siendo cada vez más frecuentes, tratando de conseguirse un material con un límite balístico suficiente para soportar el impacto de los proyectiles con mayor capacidad de penetración disponibles hoy en día.

Actualmente, los materiales empleados en los elementos de seguridad previamente mencionados dependen de la aplicación de estos. Así, para el blindaje de vehículos se podrán utilizar materiales más pesados como los cerámicos o metálicos, mientras que, para elementos de protección personal, como puedan ser escudos protectores, chalecos antibalas o viseras para los cascos, se deben emplear materiales más ligeros como el policarbonato.

Independientemente de la aplicación de dicho elemento, se deben cumplir una serie de normas para su uso y comercialización en nuestro país. Las normas más importantes,

las cuales son de indispensable cumplimiento, son por ejemplo los requisitos que establecen las STANAG's de los países miembros de la OTAN, las normas UNE, NME y MIL – STD, entre otras, todas ellas ratificadas por el Ministerio de Defensa.

- STANAG: establece una serie de procedimientos, procesos, términos y condiciones de equipamiento o técnicas militares, comunes para todos los países miembros de la OTAN (*Organisation du Traité de l'Atlantique Nord*), la cual publica esta norma en las dos lenguas oficiales de la organización, inglés y francés. Cada país ratifica un STANAG y lo implementa con sus propias Fuerzas Armadas (FFAA) [1].
- UNE: conjunto de normas, normas experimentales e informes creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Esta asociación está reconocida legalmente en España como organismo nacional de normalización conforme a lo establecido en el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial (Real Decreto 2200/1995, Ministerio de Industria y Energía, Gobierno de España) y el Reglamento (UE) 1025/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre Normalización Europea [2].
- NME: Los procedimientos de adquisición de los productos para su utilización por las Fuerzas Armadas y la Guardia Civil en su dependencia del Ministerio de Defensa, se simplifican y unifican por medio de documentos técnicos, normas militares españolas (NME), que establecen la naturaleza de las materias primas, las características de los artículos elaborados, la terminología y nomenclatura de los mismos, así como los métodos racionales de ensayo, fijando sin posible duda los datos de adquisición [3].
- MIL-STD: Military Standard o también conocidas como MIL-SPEC (Military Specifications), son un conjunto de normas militares estadounidenses, que constituyen un conjunto de procedimientos, procesos, pruebas, etc., para asegurar la calidad y fiabilidad de los productos utilizados por las Fuerzas Armadas. Estas normas son adoptadas también por otros países miembros de la OTAN, como es el caso de España [4].

Como se ha comentado anteriormente, para el diseño de este tipo de blindajes y protecciones, los ensayos de impacto son una herramienta fundamental para comprobar el comportamiento de los materiales y su eficacia en relación con su objetivo.

En estos ensayos, existen distintas variables que desempeñan un papel fundamental y que deben analizarse conjuntamente, tales como, la geometría y características del proyectil y material de estudio, así como el ángulo y velocidad de impacto.

Para la simplificación de los cálculos y los procesos de diseño, se han desarrollado grandes herramientas informáticas como es el caso de Abaqus Unified FEA, de Simulia (programa empleado para el desarrollo de este proyecto), un conjunto de programas informáticos de simulación que aplica el método de los elementos finitos (del que se hablará en profundidad más adelante) para realizar cálculos estructurales estáticos lineales y no lineales, dinámicos (incluyendo simulación de impactos), problemas de contacto de sólidos, térmicos, acoplamientos acústico-estructurales, mecánica de fluidos, piezoeléctricos, etc.

Mediante el uso de esta herramienta, se reducirá el número de pruebas empíricas a realizar, y por consiguiente se conseguirá un ahorro económico. Para ello, a través de la utilización del programa Abaqus Unified FEA, de elementos finitos, se va a analizar el comportamiento de blindajes de policarbonato-aluminio como medio de protección ante un impacto balístico. Es necesario apuntar, que este proyecto de investigación se basa en el comportamiento del material seleccionado para el blindaje, y no en el comportamiento del proyectil. A pesar de lo último, resulta interesante analizar cómo afecta el material del blindaje sobre el proyectil, por lo que se han tenido en cuenta la velocidad y trayectoria del proyectil, y aunque no de forma tan precisa, también se ha mallado el proyectil en ABAQUS, para tratar de ver la deformación que este experimenta tras el impacto.

Para ratificar la validez del modelo generado con dicho programa, se deben realizar ensayos empíricos, con las mismas condiciones que las planteadas en el programa en el momento de la simulación, y comparar los resultados obtenidos.

En el presente trabajo, se realizará el proceso inverso, ya que se ha llevado a cabo en el laboratorio de la Universidad Carlos III de Madrid, una serie de ensayos empíricos para analizar el comportamiento de un material híbrido de aluminio 6082-T6 y policarbonato,

formado por 4 placas de 1 mm de espesor cada una (siendo dos de un material y las otras dos del otro) ante el impacto de un proyectil cónico cuyas dimensiones se detallan en la *Fig. 1.1*, y variando la configuración y el orden de las mismas, con el objetivo de identificar la configuración más favorable y como afecta el orden de las placas al comportamiento del material híbrido.

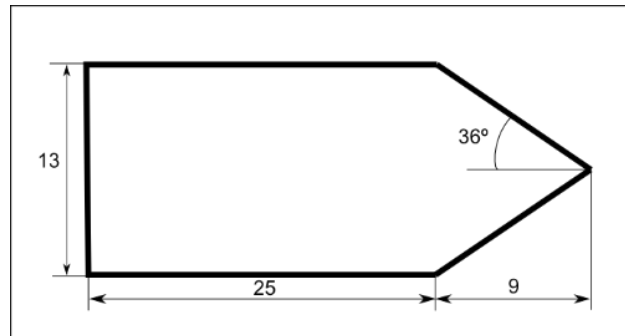


Fig. 1.1 Dimensiones del proyectil [5]

Del mismo modo, para calibrar el comportamiento del policarbonato en concreto, se han reproducido los ensayos experimentales aportados por el departamento de ingeniería de materiales de la universidad Carlos III de Madrid, sobre una placa de policarbonato de 6mm de espesor, con el mismo tipo de proyectil que el empleado en las simulaciones y los ensayos empíricos del material de estudio.

Una vez ratificada la validez del modelo de Abaqus con los resultados empíricos, se procederá a analizar el comportamiento de dicho material ante el impacto de distintos proyectiles, con distintas velocidades y esfuerzos explosivos. Del mismo modo, también se estudiará la viabilidad del material y sus posibles aplicaciones, comparándolo con los materiales empleados actualmente en el mercado para las distintas aplicaciones, intentando optimizar el material y estudiar una forma de mejorar los resultados, para aumentar así, su competitividad con otros productos del mismo mercado.

Al comparar los resultados obtenidos a través de la simulación virtual con los obtenidos en los ensayos balísticos, también se comprobará la validez y utilidad de este tipo de herramientas en la simulación de ensayos de impacto, para como se ha comentado antes, reducir el número de pruebas empíricas, y por tanto abaratar los procesos de diseño de este tipo de sistemas de protección y blindaje.

1.1 Objetivos

Como se ha expuesto previamente, en el presente trabajo, se realizarán simulaciones numéricas en el software comercial de elementos finitos Abaqus/Explicit, de los ensayos experimentales realizados en el laboratorio de la Universidad Carlos III. Comparando los resultados en ambos casos, si los errores obtenidos en las simulaciones se encuentran dentro de un rango aceptable, se podría emplear esta herramienta de simulación para someter al mismo material a distintos estados de carga, y así estudiar el comportamiento del mismo, sin necesidad de realizar pruebas experimentales adicionales, lo que supondría un ahorro económico en el desarrollo del material de blindaje.

A modo de resumen, el objetivo principal de este proyecto será, la calibración y validación de un modelo numérico que permita conocer y optimizar el comportamiento frente a impacto de laminados híbridos de aluminio 6082-T6 y policarbonato. Para ello se abordarán los siguientes temas.

- Conocer y presentar el funcionamiento y las bases teóricas empleadas por el software de simulación (Abaqus Unified FEA), así como otros aspectos interesantes y necesarios para el correcto desarrollo del proyecto.
- Reproducir el ensayo empírico, y analizar y comparar los resultados obtenidos.
- Comprobar la validez del uso de dicho software, como herramienta de simulación y ahorro ante la necesidad de llevar a cabo pruebas experimentales.
- Analizar el comportamiento del material de estudio ante un mayor número de estados de carga.

Del mismo modo, también se hablará no solo del material, sino también de sus posibles aplicaciones y usos, exponiéndose información sobre los materiales de blindaje y su evolución a lo largo de los años, en lo que se conoce como el estado del arte.

Con todos estos puntos de actuación, se pretende realizar un análisis completo de un material híbrido de aluminio 6082-T6 y policarbonato, con aplicaciones industriales en el mercado de los elementos de protecciones ligeras y blindajes, así como de la herramienta de simulación empleada, cumpliendo con los objetivos principales expuestos al comienzo de este apartado, al mismo tiempo que se amplían los conocimientos sobre los materiales más comunes en este mercado.

1.2 Estructura de la memoria

El presente trabajo de fin de grado, se estructura en distintos capítulos, en los que se tratarán todos los temas y objetivos previamente expuestos, de forma clara y ordenada, para facilitar el seguimiento y comprensión del tema principal de este proyecto:

- *Capítulo I.* Descripción de objetivos, estructura del trabajo y estado del arte.
- *Capítulo II.* Exposición de los conceptos teóricos tratados a lo largo del grado, en que se basan los cálculos del software de simulación, para que el lector pueda comprender mejor el funcionamiento del programa informático.
- *Capítulo III.* Características de los materiales seleccionados para la configuración del material híbrido estudiado, así como de los más empleados hoy en día, al mismo tiempo que se realiza una descripción, del ensayo experimental llevado a cabo en el laboratorio para la obtención de los datos empíricos.
- *Capítulo IV.* Descripción del proceso de modelización numérica del ensayo para la simulación y validación, tanto del material híbrido, como del policarbonato.
- *Capítulo V.* Comparación de los resultados obtenidos con los resultados de las pruebas experimentales y comprobación de las hipótesis planteadas.
- *Capítulo VI.* Ensayo del material híbrido ante distintos esfuerzos.
- *Capítulo VII.* Conclusiones y posibles aplicaciones y usos del material propuesto en el proyecto.
- *Capítulo VIII.* Estudio del impacto socioeconómico del proyecto.

1.3 Estado del arte

1.3.1 Evolución histórica del blindaje en carros de combate.

En este primer capítulo, se introducirá el tema de los blindajes de vehículos y protecciones personales ligeras, una posible aplicación del material híbrido estudiado en este proyecto, abarcando su desarrollo a lo largo de la historia y sobre todo la actualidad de este mercado, con los materiales más empleados y sus características.

Para hablar del primer vehículo blindado hay que remontarse a los tiempos de Alejandro Magno, cuando los griegos desarrollaron lo que se conocía como Helépolis, una máquina de asedio móvil de grandes proporciones, que se utilizó para asediar numerosas ciudades en el periodo helenístico. Esta construcción, tenía la forma de una

torre cuadrada, y estaba formada por 9 pisos, en cada uno de los cuales se montaban distintos tipos de armas de asedio. Las 3 caras expuestas al exterior estaban cubiertas por placas de hierro, para protegerse por si intentaban prenderle fuego y también de los impactos de flechas y proyectiles de piedra lanzados por los enemigos. Aunque algo primitivo, este es el primer ejemplo en la historia de vehículo blindado, a partir del cual comenzó la evolución de este tipo de elementos [6].

Hasta la industrialización, con la aparición de las armas de gran calibre y los primeros carros de combate, la evolución de este tipo de protecciones fue muy sutil.

Es entonces cuando en la Primera Guerra Mundial, aparecen los primeros automóviles blindados, de manos del FT-17 francés (con un blindaje de entre 8 y 22 mm de acero inclinado en algunas partes) y los grandes vehículos como la serie Mark británica (con entre 6,1 y 12 mm de acero). El blindaje de estos vehículos se utilizaba para proteger a los pasajeros del fuego de ametralladora y explosivos menores, pero se trataba de materiales muy poco desarrollados, ya que los propios tripulantes debían llevar protecciones, para protegerse de las esquirlas que saltaban del propio material de blindaje al ser impactado [7].

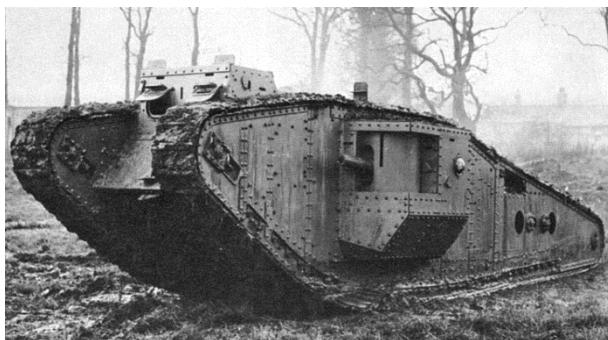


Fig. 1.3 Mark IV británico [7]



Fig. 1.2 Renault FT-17 [7]

Tras la Primera Guerra Mundial, el desarrollo de este tipo de carros de guerra fue prioritario para todos los países que se vieron envueltos en este enfrentamiento. Los franceses, desarrollaron el Char B1, un tanque que contaba no solo con un buen armamento, sino también con una buena protección (60mm de blindaje de acero, pero la inclinación seguía siendo pequeña y las planchas remachadas en su mayoría), lo que lo convertía en vehículo fuertemente armado y protegido, pero con una movilidad reducida

y un gran peso, haciendo de él un blanco fácil, por lo que con el desarrollo de misiles de gran calibre quedaron rápidamente obsoletos [7].

Por otro lado, los alemanes con el rearme iniciado por el régimen nazi, desarrollaron el Panzer IV, una auténtica revolución en el mundo de los vehículos blindados de combate hasta el momento, ya que la sustitución de las uniones remachadas por la soldadura, redujo los puntos de concentración de tensiones, donde al soportar tan altas tensiones, eran puntos donde se iniciaba la fractura del material ante el impacto, permitiendo así, utilizar blindajes de 30mm de espesor, convirtiéndolos en vehículos más ligeros y móviles que el resto de tanques de la época [7].



Fig. 1.4 Panzer IV alemán [7]



Fig. 1.5 Char B1 francés [7]

Con la llegada de la Segunda Guerra Mundial, continuaron los avances en términos de protección y potencia armamentística. Como se ha comentado previamente, el continuo avance de las armas de fuego, requería de avances en términos de protección y blindajes. Además, este avance se vio incrementado en el periodo entreguerras, partiendo de la base y la experiencia de la Primera Guerra Mundial.

A pesar del gran desarrollo de las armas de fuego, los alemanes, decidieron que la movilidad era un requisito fundamental en el campo de batalla, por lo que en sus nuevos modelos del Panzer, decidieron no aumentar excesivamente el espesor del blindaje de acero (entre 30 y 50 milímetros), para evitar ganar mucho peso [7].

En contra posición, los soviéticos, crearon dos líneas de tanque. Uno extremadamente protegido como el KV-1, con espesores en su armadura blindada de entre 90 y 100 milímetros (que solo podía ser perforada por los cañones antiaéreos y cargas explosivas

correctamente colocadas), que tenía un peso desmesurado, lo cual restaba muchísima velocidad, pero lo hacía prácticamente indestructible. Y, por otro lado, los modelos del T-34 que supusieron un gran avance en términos de blindaje, ya que introdujeron el concepto de blindaje inclinado (del que se hablará en detalle en el siguiente capítulo). Así, con espesores de 45 mm y una inclinación frontal de 60°, eran capaces de soportar la artillería alemana, con un peso mucho menor que el KV-1 y la misma potencia de fuego [7].



Fig. 1.7 KV-1 soviético [7]



Fig. 1.6 T-34 soviético [7]

Fue entonces, cuando los alemanes, desarrollaron el que sería el tanque con mejor protección frontal del momento, el Panther alemán, con un espesor de 80 mm y una inclinación de 55 grados en el frontal. Este modelo, incorporaba todos los avances en el mundo del blindaje hasta el momento, con las uniones soldadas y una gran inclinación frontal, unido a un aumento del espesor del blindaje de acero y una mayor potencia de fuego.



Fig. 1.8 T-34 soviético [7]

No contentos con el Panther, en 1942, los alemanes comenzaron a trabajar en el Tiger II, el cual contaba con un blindaje frontal inclinado de 150mm, pero sin mejorar el blindaje lateral, debido al gran aumento de peso y reducción de movilidad que conllevaba, lo que convertía al Tiger II en un vehículo prácticamente impenetrable frontalmente, pero relativamente débil, en proporción, por los laterales [7].

Como respuesta al avance alemán, los soviéticos, comenzaron a trabajar en un tanque que sustituyera al KV-1, y que pudiera derrotar a los tanques pesados del ejército alemán. Así en 1944, lanzaron el modelo IS-2 con una inclinación frontal de 60° y un espesor de 120mm. Pero la novedad de este modelo residía, no solo en tratarse de una fusión de los dos tanques soviéticos anteriores, con un aumento del espesor frontal respecto al KV-1, manteniendo la inclinación del T-34, si no en sus laterales, los cuales fueron inclinados 60° en su parte alta, con un espesor de 90mm. El único inconveniente de este modelo fue la reducción del espacio interior para evitar el sobre peso, debiendo seleccionarse a personal cualificado para manejar el tanque con tripulaciones muy reducidas [7].

Tras la guerra, las investigaciones en armamento y protección no cesaron, y los soviéticos, siguieron mejorando su modelo IS-2. De esta forma, nació el tanque IS-3. Este modelo, reunía las tres grandes ideas, que los soviéticos se plantearon tras la guerra para mejorar en términos de blindajes. La solución, ya no era solo aumentar los espesores como se había estado haciendo hasta el momento. En este modelo, comenzaron a inclinar también el blindaje en el eje horizontal, al mismo tiempo, que llevaban las inclinaciones en el eje vertical a ángulos extremos. Todo esto unido a un nuevo diseño de torreta de acero forjado, con formas semiesféricas que permitían usar espesores variables más fácilmente [7].



Fig. 1.9 IS-2 e IS-3 al fondo [7]

Como se ha comentado anteriormente, el desarrollo armamentístico continuó su rápida evolución, y fue así como aparecieron las cargas huecas de tipo HEAT (High Explosive Anti-Tank). Estas cargas, que ya se empleaban a finales de la Segunda Guerra Mundial, fueron empleadas por primera vez para neutralizar vehículos blindados en 1943, aunque aún no eran muy precisas. El funcionamiento de estos proyectiles, el cual se basa en el principio de Munroe, consistía en un espacio hueco recubierto por material explosivo, excepto en la zona que hace contacto con el blindaje, de tal manera, que la detonación produce elevadísimas temperaturas y presiones que fuerzan a los gases en estado de plasma, a ocupar el espacio con menores presiones, que en este caso es el blindaje del objetivo. De esta forma, las altas presiones deformaban el blindaje de acero y las altas temperaturas, fundían el mismo, dejando paso hacia el interior del vehículo a estos peligrosos gases, así como a fragmentos con alta velocidad de metal procedente del propio blindaje [8] [9].

El funcionamiento de este tipo de cargas se estudió de forma intensiva, y tras la guerra, se perfeccionó de tal manera, que suponía una gran amenaza para los mejores vehículos blindados del momento. Fue así como surgió el primer vehículo con un blindaje de material compuesto, el T-64 soviético. Fue fabricado por primera vez en 1963, y constaba de un blindaje formado por 3 capas, con una estructura en forma de sándwich, siendo las capas exteriores de acero, y una capa intermedia de material cerámico [7].

Este blindaje conocido como Combinación k, empleaba dos capas de acero laminado y una capa de material cerámico, concretamente vidrio reforzado con plástico, que aportaba mayor protección frente a la explosión de los proyectiles de tipo HEAT, gracias a sus propiedades de aislante térmico y su elevado punto de fusión, que entorpecían e incluso evitaban la penetración de los gases liberados de la reacción exotérmica, durante la explosión de la carga antitanque [10].



Fig. 1.10 T-64 soviético [7]

Cabe destacar que, antes incluso de la fabricación del T-64 soviético, los americanos, ya habían estudiado e incorporado el blindaje compuesto a su vehículo blindado experimental T95. Este tanque, del cual solo se hicieron algunos prototipos, utilizaba un blindaje formado por placas de núcleo de silicio, es decir, con planchas de silicio fundido en forma de material vítreo entre dos placas de acero laminado. El material vítreo de silicio, no era otro que el Carburo de silicio, el cual se basa en la estructura en forma de diamante del carbono (C), a la cual se le cambian átomos de este elemento, por otros de silicio. Estas modificaciones, hacen de este material, un material semiconductor y refractario, idóneo, para trabajar en condiciones extremas de temperatura, como las creadas por el impacto de los proyectiles de carga hueca. Todas las innovaciones incorporadas en este nuevo carro de combate, no llegaron a entrar en producción, pero fueron empleadas como base para el desarrollo de la serie M48 Patton, los vehículos blindados empleados por el ejército y los marines estadounidenses en la Guerra de Vietnam, y la serie M60 Patton, el vehículo blindado más empleado y fabricado por lo americanos durante la Guerra Fría y hasta finales de la década de los 90 [7].

Esta incorporación de los materiales compuestos a los blindajes, dio lugar al desarrollo de nuevas tecnologías y evoluciones de estos primeros diseños, como es el caso de los blindajes reactivos o ERA (Explosive Reactive Armour), y el blindaje británico, conocido como Chobham.

El blindaje reactivo, fue ideado por el Ejército Rojo de la Unión Soviética, para mejorar la protección contras los proyectiles de tipo HEAT, así como para soportar también el impacto de los nuevos diseños de proyectiles perforadores, como los APFSDS

(proyectiles perforadores cinéticos de blindaje). Este blindaje consiste en la disposición de placas de acero laminado, separadas por material explosivo plástico, que, al recibir el impacto, implosiona y destruye o inhabilita el proyectil anti-tanque. Este tipo de blindaje fue empleado en tanques como el T-55, T-62 y nuevas versiones del T-64, y se caracterizan por estar dispuestos en placas o ladrillos, dentro de los cuales, se encuentra una configuración en forma de sándwich (con dos capas externas de material metálico y una capa intermedia de material explosivo o energético), dispuesta de manera oblicua, para aumentar el espesor virtual que debe atravesar el proyectil. Este tipo de blindajes, no se añade a toda la superficie del vehículo, por temas de peso y maniobrabilidad, sino que se disponen en las zona más probables de recibir impactos, según los estudios realizados tras la Segunda Guerra Mundial (98% en la parte frontal de la torre, 22% en la proa, 14% en las zonas delanteras de los laterales del casco y 7% en las zonas restantes) [11].

Por otro lado, a finales de los años 60, se desarrolló considerablemente el blindaje de los vehículos británicos, los cuales montaban un blindaje compuesto con materiales cerámicos, que acabó recibiendo el nombre de blindaje Chobham, en honor al centro de investigación donde fueron desarrollados, situado en la región de Chobham Common, en Surrey, Inglaterra [12].

Este tipo de blindaje cerámico, es el ejemplo más común de lo que se conoce como blindaje NERA (llamado en castellano Blindaje Reactivo Pasivo), un tipo de blindaje reactivo, que, en lugar de utilizar una explosión, utiliza la dureza tradicional del blindaje, en capas superpuestas, que lo que consiguen es decelerar o incluso neutralizar el proyectil [11]. El blindaje Chobham, se caracteriza por el uso de materiales cerámicos de gran dureza, que ofrecen una gran resistencia ante los distintos tipos de proyectiles, ya que la cerámica pulverizada, permite que, a mayor velocidad de ciertos proyectiles, estos acaben siendo destruidos. Estas cerámicas, suelen estar formadas por una mezcla de materiales cerámicos, en una matriz de compuestos metálicos, que en un principio se unían mediante el uso de resinas epoxi, pero que, desde principios de los años 90, se unen a la matriz, manteniéndolos a presión constante, lo que dota al material de una mayor resistencia ante el impacto de proyectiles cinéticos, lo que es difícil de conseguir empleando adhesivos. Además, estas matrices deben estar sujetas con una placa trasera, para prevenir deformaciones de la matriz metálica. El ensamblaje, cuenta también con capas elásticas

de fijación, las cuales absorben impactos y alargan la vida útil de la matriz compositiva, al absorber también las vibraciones [12].

La eficacia de este tipo de blindajes, quedó demostrada a principios de la década de los 90, durante la Guerra del Golfo, así como en la Guerra de Irak en 2003, cuando ni un solo tanque de las Naciones Unidas, fue destruido por misiles anti-tanque. Los principales ejemplos de tanque que han montado este tipo de blindaje son los Challenger 1 y 2 británicos, así como el M1 Abrams norteamericano, el cual se muestra en la siguiente imagen [13].



Fig. 1.11 Abrams, en Faluya [13]

El blindaje de este tanque, estaba formado por varias capas superpuestas de acero laminado, cerámica pulverizada, compuestos plástico y kevlar (este último otorga una gran capa protectora, y se monta en la parte interna del vehículo, para atrapar la posible metralla que atravesase el material de blindaje, o restos de material que salten del propio material de blindaje tras el impacto). Pero con el paso de los años y la evolución de los misiles penetradores cinéticos soviéticos, este blindaje presentaba carencias, por lo que se optó por añadir capas adicionales de metales pesados, para dar mayor densidad al blindaje, y por tanto una gran protección contra este tipo de proyectiles, a costa de un aumento considerable del peso. Para minimizar al máximo este aumento de peso, los nuevos modelos del M1 Abrams, y sucesivos, comenzaron a montar módulos de uranio empobrecido, tejido en una malla de alambre, con numerosas juntas de dilatación y perforaciones, reduciendo el peso casi un tercio y manteniendo la protección prácticamente constante. Por otro lado, los Challenger montaban el modulo con la misma estructura, pero en este caso de una aleación de tungsteno. Con estas modificaciones, el

modelo M1 Abrams, aumentó su peso en 6 toneladas, respecto a las primeras versiones, pero consiguió una protección aun mayor que la del Challenger 2 [14].

1.3.2 Aplicación del blindaje en vehículos civiles.

Todos estos estudios sobre blindaje, no solo tienen un uso militar. Con el crecimiento de la violencia y los conflictos armados, desde inicios del siglo XX, coincidiendo con el estallido de la Primera Guerra Mundial, y la aparición de los primeros carros de combate blindados, esta tecnología se aplicó también a vehículos civiles, destinados a la protección de altos cargos políticos, y personajes públicos con riesgo de sufrir atentados.

Así en 1928, se fabricó, el que probablemente sea el primer automóvil civil blindado, el Cadillac Town Sedan. Este, fue el vehículo oficial de Franklin Roosevelt, y se rumorea, que también pudo pertenecer al mafioso italiano Al Capone. Este vehículo, contaba con cristales blindados de 3 cm de espesor y su carrocería estaba completamente cubierta con más de 1300kg de acero [15].



Fig. 1.12 Cadillac Town Sedan de 1928 [16]

Hasta la aparición de los mayores avances en el uso de material compuesto, el blindaje de vehículos civiles, era muy limitado, y se basa principalmente en la adición de capas de acero bajo la carrocería y cristales de mayor espesor, para soportar disparos con armas de fuego de bajo calibre, que, en ese momento, eran la principal y casi única amenaza presente en las calles de las grandes ciudades. Además, no eran modificaciones muy comunes, por dos motivos: por un lado, este tipo de modificaciones eran muy costosas y solo gente muy adinerada podía permitírselas; y, por otro lado, la cantidad de personajes públicos y altos cargos que se hallaban en riesgo era mucho menor que en la actualidad.

Este último, cuenta con un blindaje fabricado de acero, aluminio y titanio y es capaz de resistir el impacto de cohetes y armas químicas. Por desgracia, por motivos de seguridad, las especificaciones técnicas del blindaje de este vehículo son secretas.



Fig. 1.14 Cadillac One [16]

Como se ha comentado previamente, algunas marcas, cuentan con la posibilidad de modificar algunos de sus modelos, para ofrecer vehículos blindados, con la apariencia de un vehículo normal. Estas modificaciones, no solo consisten en montar vidrios transparentes (laminados a un escudo interior de policarbonato, para las ventanas,) o añadir armaduras de compuestos ligeros (aceros balísticos y otros materiales especializados para la protección de la carrocería). Lo que hace necesario, al aumentar el peso del vehículo en varias toneladas, montar motores más potentes para asegurar una buena respuesta del mismo, en caso de ser necesarias maniobras de escape, y realizar cambios en el sistema de frenos, para poder detener vehículos que llegan a las 5 toneladas de peso. Estos vehículos además cuentan con sistemas antincendios, protecciones de aislamiento contra ataques con armas químicas y gases tóxicos, neumáticos balísticos capaces de recorrer hasta 30 km tras recibir el impacto de un proyectil, etc. Un ejemplo de este tipo de vehículos modificados, podría ser el Audi A8 L Security [18].



Fig. 1.15 Audi A8 L Security [16]

En la mayoría de los casos, el blindaje es prácticamente imperceptible a la vista, para evitar llamar la atención, aunque algunos vehículos como el Knight XV, cuentan con un blindaje más que evidente, con todas las protecciones y refuerzos mostrados a simple vista. Este coche originalmente era un vehículo militar, que la marca Conquest decidió sacar al mercado como automóvil totalmente personalizable. Las especificaciones técnicas son desconocidas por secreto industrial, pero este vehículo cuenta con la mayor certificación de seguridad del mercado de vehículos blindados, Nivel IV – BR7, y es capaz de soportar el impacto de un misil RPG [19].



Fig. 1.16 Knight XV [19]

1.3.3 Normativas y ensayos aplicados a vehículos blindados.

Como se ha comentado anteriormente, existen distintas certificaciones, que determinan el nivel del blindaje con que cuenta un vehículo. Estas certificaciones, se basan en las normas, NIJ Standard 0108.01 emitida por The National Institute of Justice, de Estados Unidos, y la norma EN 1063 European Standard, desarrollada por el European Committee for Standardization, la cual, se usa en conjunción con la norma EN 1522 (Euronorm Standard for Bullet Resistance in Windows). Ambas normas establecen distintos niveles de blindaje, equiparables entre sí, con distintos nombres, para las mismas condiciones de protección. Los niveles ya mencionados, se listan a continuación, nombrándose primero la nomenclatura estadounidense, seguida de la europea [17].

- **Blindaje Nivel I - BR1:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de atraco a mano armada, en el cual los agresores utilicen armas automáticas cortas. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibre .22 [17] [20].
- **Blindaje Nivel IIA/II – BR2:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de atraco a mano armada, en el cual los agresores utilicen armas automáticas cortas. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres de hasta 9mm [17] [20].

- **Blindaje Nivel IIA/II – BR3:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de atraco a mano armada, en el cual los agresores utilicen armas automáticas cortas. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres hasta .357 Magnum [17] [20].
- **Blindaje Nivel IIIA – BR4:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de atraco a mano armada, secuestro o atentado. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres hasta .44 magnum [17] [20].
- **Blindaje Nivel IIIA reforzado:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de atraco a mano armada, secuestro o atentado. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres hasta .44 magnum y sub ametralladora de 9mm [17] [20].
- **Blindaje Nivel BR5:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de secuestro o atentado con riesgo de uso de armas automáticas largas. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres hasta 5.56 x 45 mm [17] [20].
- **Blindaje Nivel III – BR6:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de secuestro o atentado con riesgo de uso de armas automáticas largas, como fusiles. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres hasta 7.62 x 51 mm [17] [20].
- **Blindaje Nivel IV – BR7:** Blindaje diseñado para protegerse de un intento de secuestro o atentado con riesgo de uso de armas automáticas largas, como fusiles con munición perforante. Este blindaje soporta el impacto de proyectiles de calibres hasta 7.62 x 51 mm y munición perforante [17] [20].

Nivel	Tipo de arma	Calibre	Munición	Masa (g+/-0.10)	Velocidad 2.5(m/s)	Distancia (m) +/- 10	No. de disparos
B1		.22LR	L/RN	2.6	300	10	3
B2		9mm X 19	(1) FJ/RN/SC	8	400	5	3
B3		.357 magnum	(1) FJ/CB/SC	10.2	430	5	3
B4		.44 magnum	(1) FJ/CB/SC	15.6	440	5	3
B5		5.56 x 45	(2) FJ/PB/SCP1	4	920	10	3
B6		7.62 x 51	(2) FJ/PB/SCP1 (1) FJ/PB/SC	9.5	830	10	3
B7		7.62 x 51	(2) FJ/PB/HCI	9.8	820	10	3

Fig. 1.18 Niveles de protección CEN 1063 [21]

Nivel	Tipo de arma	Calibre	Munición	Masa (grains/gramos)	Velocidad (ft/s)	Distancia (m)	No. de Impactos
I		22 LRHV .38 Special	Lead RN Lead	40 gr 2.6 g 158 gr 10.2 g	1050+/-50 850+/-50	320+/-12 259+/-15	5
IIA		.357 Magnum	JSP	158 gr 10.2 g	1250+/-50	332+/-12	5
II		9 mm	FMJ	124 gr 8.0 g	1090+/-40	381+/-15	5
II		.357 Magnum	JSP	158 gr 10.2 g	1395+/-50	425+/-15	5
II		9 mm	FMJ	124 gr 8.0 g	1175+/-40	358+/-12	5
IIIA		.44 Magnum	Lead SWC gas Checked	240 gr 15.55 g	1400+/-50	426+/-15	5
IIIA		9mm	FMJ	124 gr 8.0 g	1400+/-50	426+/-15	5
III		7.62 x 51	.308FMJ	150 gr 9.7 g	2750+/-50	838+/-15	15
IV		7.62 x 63	.30-06AP	166 gr 10.8 g	2750+/-50	838+/-15	15

Fig. 1.17 Niveles de protección NIJ 0108.01 [21]

En los ensayos para determinar la certificación de blindaje de un material, se emplean tres planchas de dicho material, y se realizan 3 disparos en cada una de ellas, formando un triángulo equilátero, de 120mm de lado. Para cada una de las categorías de armas sometidas a prueba, el vidrio es clasificado como “antibala” si detiene todos los proyectiles en las tres hojas utilizadas en el ensayo. El informe indica asimismo la presencia o ausencia de astillas – (S) o (NS) – detrás del acristalamiento [17].

Ensayos de resistencia a las balas

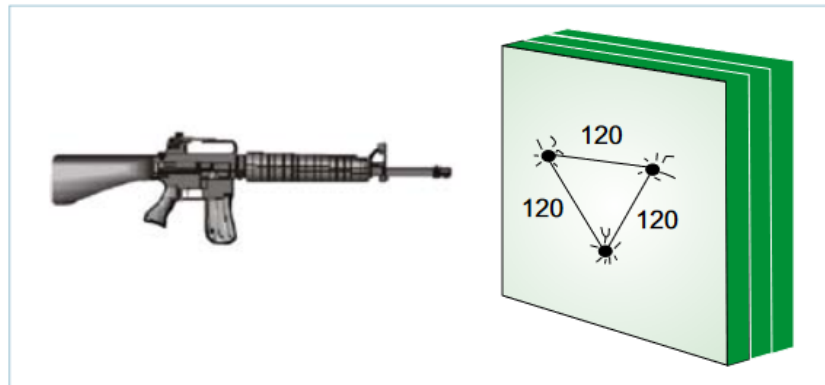


Fig. 1.19 Ensayo balístico para determinar la certificación de blindaje según la EN-1063 [17]

La norma EN 1063, abarca dos niveles más de blindaje, específicos para el uso de escopetas. Estos niveles de blindaje, SG1 y SG2, no necesariamente tienen una correlación con los BR1 a BR7. La única diferencia entre estos dos niveles, es que, en la SG1 se realiza únicamente un disparo, mientras que en el SG2 se procede como en los ensayos de los niveles BR [17].

Clases de resistencia a las armas de fuego según la norma EN1063

Clase	Tipo de arma	Calibre	Tipo	Masa (g)	Condiciones de ensayo			
					Distancia de disparo (m)	Velocidad de los proyectiles (m/s)	Número de disparos	Distancia entre los disparos (mm)
BR1	Fusil	0,22 LR	L/RN	2,6 ± 0,1	10,00 ± 0,5	360 ± 10	3	120 ± 10
BR2	Pistola	9 mm luger	FJ ⁽¹⁾ /RN/SC	8,0 ± 0,1	5,00 ± 0,5	400 ± 10	3	120 ± 10
BR3	Pistola	0,357 magnum	FJ ⁽¹⁾ /CB/SC	10,2 ± 0,1	5,00 ± 0,5	430 ± 10	3	120 ± 10
BR4	Pistola	0,44 Rem. Mag.	FJ ⁽¹⁾ /RN/SC	15,6 ± 0,1	5,00 ± 0,5	440 ± 10	3	120 ± 10
BR5	Fusil	5,56x45*	FJ ⁽²⁾ /FN/SC	4,0 ± 0,1	10,00 ± 0,5	950 ± 10	3	120 ± 10
BR6	Fusil	7,62x51	FJ ⁽²⁾ /PB/SCP1	9,5 ± 0,1	10,00 ± 0,5	830 ± 10	3	120 ± 10
BR7	Fusil	7,62x51**	FJ ⁽²⁾ /PB/HC1	9,8 ± 0,1	10,00 ± 0,5	820 ± 10	3	120 ± 10
SG1	Escopeta	Cal 12/70	Plomo macizo ⁽³⁾	31,0 ± 0,5	10,00 ± 0,5	420 ± 20	1	-
SG2	Escopeta	Cal 12/70	Plomo macizo ⁽³⁾	31,0 ± 0,5	10,00 ± 0,5	420 ± 20	3	120 ± 10

* Longitud de estriado 178 mm ± 10 mm FN Proyectil de cabeza plana
 ** Longitud del estriado 254 mm ± 10 mm HC1 Núcleo duro de acero, masa 3,7 g ± 0,1 g, dureza > 63 HRC
 (1) Camisa de acero PB proyectil puntiagudo
 (2) Camisa de aleación de latón RN Proyectil de cabeza redondeada
 (3) Bala Brenneke SC Núcleo blando (con plomo)
 L Plomo SCP1 Núcleo blando (plomo) con perforante de acero (tipo SS109)
 CB Proyectil de punta cónica
 FJ Proyectil blindado

Fig. 1.20 Norma EN-1063 completa [17]

Existe otra norma que trata el tema de los distintos tipos de blindaje, la UL 752. Esta norma, fue publicada por la empresa estadounidense, Underwriters Laboratories, empresa autorizada por el gobierno de los Estados Unidos, concretamente por la agencia federal, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), para llevar a cabo pruebas de seguridad. Se menciona esta norma, ya que contempla un nivel más de blindaje, que las dos anteriores. Actualmente es la mayor certificación de blindaje disponible, aunque solo sea oficial en EEUU. Esta certificación, se otorga a blindajes capaces de resistir el impacto de proyectiles de calibre .50, a velocidades de entre 856 y 942 metros por segundo [22].

Rating	Ammunition	Weight (grains)	Weight (grams)	min fps	max fps	Number of shots
Level 1	9mm Full Metal Copper Jacket with Lead Core	124	8.0	1175	1293	3
Level 2	.357 Magnum Jacketed Lead Soft Point	158	10.2	1250	1375	3
Level 3	.44 Magnum Lead Semi-Wadcutter Gas Checked	240	15.6	1350	1485	3
Level 4	.30 Caliber Rifle Lead Core Soft Point (.30-06 Caliber)	180	11.7	2540	2794	1
Level 5	7.62mm Rifle Lead Core Full Metal Copper Jacket Military Ball (.308 Caliber)	150	9.7	2750	3025	1
Level 6	9mm Full Metal Copper Jacket with Lead Core	124	8.0	1400	1540	5
Level 7	5.56mm Rifle Full Metal Copper Jacket with Lead Core (.223 Caliber)	55	3.56	3080	3383	5
Level 8	7.62mm Rifle Lead Core Full Metal Copper Jacket Military Ball (.308 Caliber)	150	9.7	2750	3025	5
Level 9	.30-06 caliber rifle, steel core, lead point filler, FMJ (APM2)	166	10.8	2715	2987	1
Level 10	.50 caliber rifle, lead core FMCJ Military Ball (M2)	709.5	45.9	2810	3091	1
Shotgun	12-Gauge Rifled Lead Slug	1 Oz.	28.3	1585	1744	3
	12-Gauge 00 Buckshot (12 pellets)	1.5oz	42	1200	1320	3

Fig. 1.21 Norma UL-752 [22]

La Norma EN 1522, abarca los mismos niveles, con las mismas condiciones, que la EN 1063, pero esta norma es específica para materiales empleados en ventanas, puertas y persianas [17].

EN1522	Disparos	EN1063	Disparos	Arma	Calibre
FB1	1	BR1	3	Rifle/Carabina	.22 LR
FB2	1	BR2	3	Arma corta	9mm Luger
FB3	1	BR3	3	Arma corta	.357 Magnum
FB4	1	BR4	3	Arma corta	.357 Magnum
FB4	1	BR4	3	Arma corta	.44 Magnum
FB5	1	BR5	3	Rifle/Carabina	5.56 x 45
FB6	1	BR6	3	Rifle/Carabina	5.56 x 45
FB6	1	BR6	3	Rifle/Carabina	7.62 x 51
FB7	1	BR7	3	Rifle/Carabina	7.62 x 51
FSG	1	SG1	1	Arma larga	12/70
FGS	1	SG2	3	Arma larga	12/70

Fig. 1.22 Normas EN-1522 y EN-1063 [17]

Estas normas, EN 1063 y EN 1522, van de la mano, con los mismos niveles y mismos requisitos para cada uno de ellos, por un motivo muy sencillo, y es que, por lo general, cuando un vehículo monta una protección en la carrocería de nivel BR7, también monta un acristalamiento de nivel FB7, para asegurar que impacte sobre la superficie que impacte el proyectil máximo admitido por la certificación otorgada, este soportará dicho impacto protegiendo a los tripulantes de sus consecuencias.

Hoy en día, con las tecnologías y necesidades presentes, la combinación de materiales y el uso de materiales compuesto, es la solución más empleada por tener un menor peso, costes aceptables, y una fabricación adecuada. En cualquier caso, siempre se debe analizar en profundidad, el material más adecuado dependiendo de las necesidades de cada uso, ya que, por ejemplo, los parámetros a tener en cuenta a la hora de diseñar un blindaje para un vehículo, serán muy distintos a los que se tienen en cuenta en términos de protecciones personales.

La mecánica que seguir, a la hora de implementar un blindaje para un vehículo, debe seguir las siguientes fases [17]:

- 1ª Fase: Definir la amenaza
- 2ª Fase: Definir la protección
- 3ª Fase: Definir el vehículo

En la primera fase, se valoran:

- PROYECTILES (Impacto directo): Perforante (AP, HEAT) o Rompedor (HE)
- CARGAS EXPLOSIVAS (Impacto directo o indirecto)

En la segunda fase, el vehículo se divide en dos zonas y se deciden los materiales a emplear en cada una de ellas:

- ZONAS OPACAS:
 - Aleaciones metálicas: Acero de alta resistencia (CR, Mo, Mn)
 - Materiales cerámicos para blindajes: Cerámicas o fibras estructurales (Al_2O_3 , OBe, CB_4 , BBe_2 , B_2Ti ...)
 - Materiales compuestos.

- Fibras sintéticas: Aramidas (Kevlar, GoldFlex), Polímeros (Dyneema), espuma (Poliuretano Poliul Reticulado)

- ZONAS ACRISTALADAS:

- Vidrio (cristal multiestrato)
- Polivinilbutiral (PVB)
- Policarbonato (PC)
- Plástico sellante.

En esta fase, es en la que se comienza el estudio, definición y obtención de la solución propuesta para la amenaza identificada en la primera fase. Esta es la fase en la que se desarrollará el presente proyecto de fin de grado, y se basa en los conceptos teóricos que se introducirán en el siguiente capítulo, así como las propiedades de los distintos proyectiles considerados en el estudio. En el caso concreto de este proyecto, se podría considerar, la ausencia de la primera fase, ya que no se basa en una amenaza concreta, sino en la determinación del límite balístico del material propuesto. Además, en este proyecto se tiene en cuenta solo el caso de amenazas con proyectiles de impacto directo, aunque también se realizarán ensayos para comprobar el comportamiento frente a cargas explosivas, para profundizar en el análisis del material.

Por último, en la tercera fase, se selecciona el vehículo apropiado para la solución propuesta, teniendo en cuenta:

- Protección prioritaria respecto al coste.
- Especificaciones técnicas del vehículo, para que sea capaz de soportar el blindaje sin perder demasiadas prestaciones, manteniendo unos mínimos exigidos.
- Estudio de las normas técnicas.
- Conocimiento de los nuevos materiales
- Modelización, métodos de análisis y cálculo, ensayos, etc.
- Control de calidad exhaustivo en la ejecución del blindaje

Teniendo en cuenta, las fases mencionadas, es evidente la utilidad de programas de análisis numéricos, para obtener la solución con el mínimo de ensayos, abaratando y simplificando el proceso de diseño. Aun así, es necesario siempre la ratificación de los resultados obtenidos con ensayos empíricos. En el caso de empresas como BMW, Mercedes, etc, estas herramientas, también permiten abaratar el proceso de modificación de sus propios modelos, para incorporarles un blindaje apropiado.

Tras todo el proceso previo, el resultado final son las modificaciones que se presenta las siguientes imágenes, dependiendo, de si es un modelo blindado, o si se trata de una modificación para blindar un vehículo convencional [17].

Las corazas de un blindado

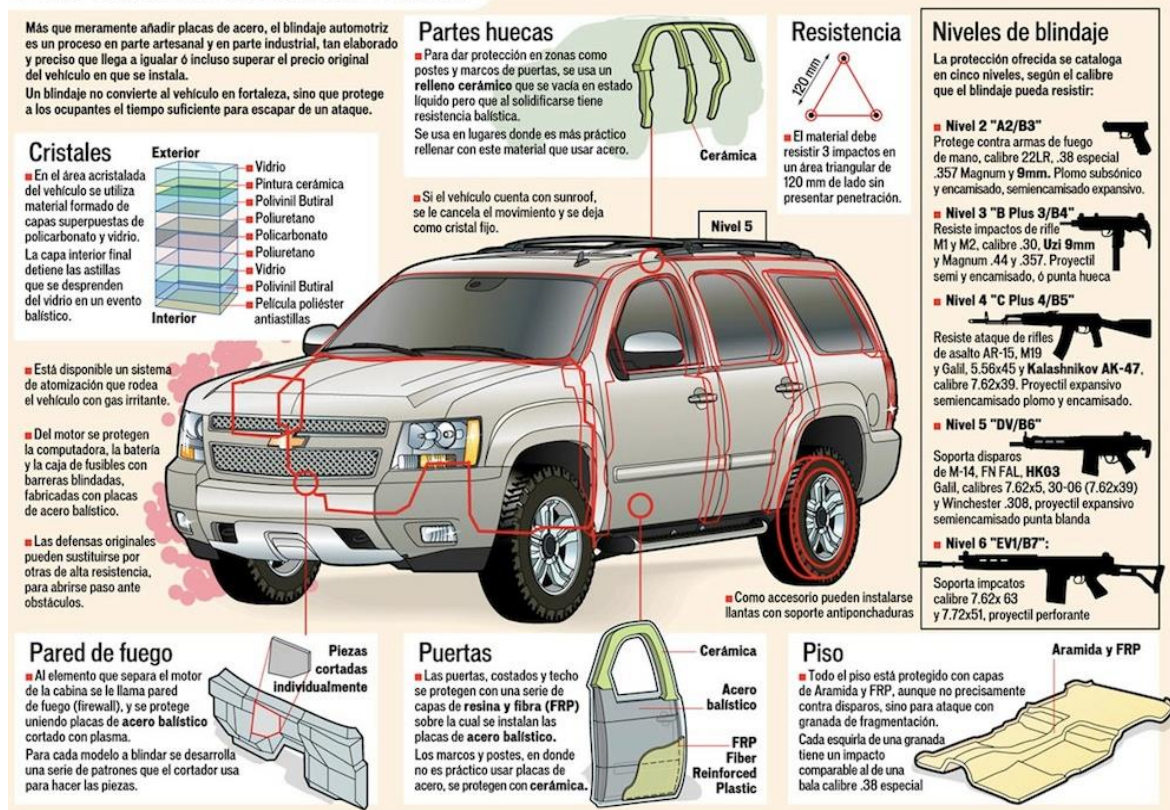


Fig. 1.23 Partes del blindaje de un vehículo acorazado [17]

PROTECCIÓN A LA MEDIDA

Aunque originalmente sólo se blindaban vehículos grandes, por el peso adicional que agregaba el acero la aparición de materiales más ligeros como el Kevlar ha permitido que el blindaje se pueda adaptar en la actualidad a casi cualquier vehículo

Carrocería
Puertas, techo, laterales de cabina se protegen con acero balístico o fibra balística

Kevlar
Se utilizan varias placas de este material, para detener el impacto de las balas

Postes, A,B,C y D, se protegen con acero balístico que puede variar de acuerdo al tipo de blindaje que se pretende equipar

Otras medidas

- 1 **Pared de fuego**
Capas de acero separan el motor de la cabina y protegen las piernas
- 2 **Motor**
Se protegen con barras de acero la computadora, la batería y los fusibles
- 3 **Piso**
Cubierto con capas de kevlar y otras fibras, protege contra granadas
- 4 **Defensas**
De alta resistencia, para abrirse el paso ante obstáculos
- 5 **Gas**
Algunos modelos incorporan sistemas que rodean el vehículo con gas irritante

Fuente: AMBA

Los vehículos recomendados para blindar son aquellos con motores de ocho cilindros y ocasionalmente con motor V6, principalmente SUV y pick-ups

Las llantas

No están blindadas, pero si reforzadas para que el vehículo pueda rodar con los neumáticos pinchados, hasta 50 kms a una velocidad de 80 km/h

Aros de Seguridad
Hechos de caucho, acero, nylon y otros polímeros, se instalan sobre la cama interna del rin

Al quedar sin aire los neumáticos, el vehículo rueda sobre la llanta apoyada en la cara de rodado de los aros, evitando que el rin corte las llantas

Cristales
Los originales se reemplazan y su densidad varía de acuerdo al tipo de blindaje, pero en general se emplean cristales multicapas

Pintura
Cristal
Polivinil butiral
Poliuretano
Policarbonato
Material antiesquirlas
Kevlar

NIVELES DE BLINDAJES SEGÚN EL AMBA

La protección ofrecida se cataloga en cinco niveles, según el calibre que puede resistir

Nomenclatura para Latinoamérica y Europa	Precio (dólares)
Nivel 2 "A2/B3" Protege contra calibres 38, 45 automática, 9mm y 357 magnum	28,000 a 35,000
Nivel 3 "B Plus 3/B4" Resiste impactos de Uzi 9mm y Magnum .44 y 357	40,000 a 50,000
Nivel 4 "C Plus 4/B5" Resiste ataques de rifles de asalto Kalashnikov AK-47, calibre 7.62x39.	50,000 a 70,000
Nivel 5 "DV/B6" Soporta disparos de R15, M-19, FN FAL, HK/G3, Gali calibre 7.62x5, 30-06 y Winchester .308	70,000 a 90,000
Nivel 6 "EV1/B7" Soporta impactos calibre 7.62x63 y proyectiles perforantes	90,000 a 110,000

Infografía: Edo Roldana

Fig. 1.24 Modificaciones realizadas, para blindar un vehículo convencional [17]

1.3.4 Evolución histórica del chaleco antibalas y materiales empleados.

Otra posible aplicación del material de estudio, serían las protecciones personales. Estas protecciones, son prendas protectoras que absorben el impacto de las balas disparadas a zonas vitales, y trozos provenientes de explosivos.

Este tipo de prendas se ha utilizado desde tiempos inmemoriales, para protegerse de cortes de espada, impactos de flechas, golpes con mazas etc. Pero desde el punto de vista de este proyecto, resulta más interesante, analizar la evolución de este tipo de prendas, desde la aparición de los proyectiles de arma de fuego, y su uso en enfrentamientos bélicos.

Las protecciones personales más importantes, de las cuales se va a exponer su evolución a lo largo de la historia, son el casco y el chaleco, ya que protegen las zonas vitales más críticas, pecho y cabeza. Del mismo modo, en las protecciones para las extremidades, se pueden aplicar los mismos materiales empleados en los chalecos.

En primer lugar, se hablará de los chalecos antibalas, los cuales, que se tenga constancia, fueron empleados por primera vez en 1880, durante una redada policial en Glenrowan, en Victoria, Australia, donde una banda de prófugos australianos, dirigida por Ned Kelly, fabricó protecciones corporales a partir de chatarra. Estos primeros chalecos, pesaban en torno a 44 kg, dificultando el movimiento de los usuarios [23].

A comienzos de ese mismo año, el doctor George Emery Goodfellow, de Arizona, comenzó sus investigaciones, para el desarrollo de chalecos de seda, tras observar, varios casos en los que la tela de seda, aminoró el impacto de balas en el cuerpo de personas atacadas con armas de fuego [23].

Basándose en los descubrimientos del doctor Goodfellow, Casimir Zeglen, inventó en 1893 la primera prenda antibalas, compuesta por varias capas de tela de seda, capaz de soportar el impacto de balas relativamente lentas, disparadas con pistolas con cartucho de pólvora negra. En 1897, participó en el desarrollo de un nuevo modelo, que daría lugar a la primera armadura antibalas comercial, creada por Jan Szczepanik en 1901.

Durante la Primera Guerra Mundial, los americanos desarrollaron una armadura de una sola pieza, conocida en inglés como Brewster Body Shield, compuesta por una aleación de cromo y níquel. Esta armadura pesaba 18 kg, y dificultaba el movimiento, lo que llevó al desarrollo de un chaleco, formado por escamas de acero sobre un forro de cuero, que apenas pesaba 5 kg y se ajustaba mucho mejor al cuerpo, capaz de soportar el impacto de proyectiles de calibre 0.303 [23].



Fig. 1.25 Brewster Body Shield
1917-1918 [23]

Una vez superada la Primera Guerra Mundial, entre las décadas de 1920 y 1930, las bandas criminales de EEUU, comenzaron a utilizar chalecos capaces de resistir el impacto de balas de pistola .22 LR, .25 ACP e incluso .45 ACP. Estos chalecos, hechos de tela y

rellenos de algodón, eran mucho menos costosos y accesibles para este tipo de bandas [23].

Con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, se impulsó de nuevo el desarrollo de este tipo de protecciones. Los soviéticos, utilizaron el SN-42, un chaleco formado por dos placas de acero prensadas. Con un grosor de 2 mm y un peso de 3,5 kg, protegía al usuario de las balas de 9 mm, pero su rigidez y peso, lo hacía poco práctico para su uso en batallas a campo abierto. Los americanos por su parte desarrollaron, el chaleco Doron, una lámina hecha de fibra de vidrio comprimida con resinas, tremendamente efectiva contra balas de bajo calibre, pero muy poco efectiva contra las balas de alto calibre, disparadas por fusiles y ametralladoras [23].



Fig. 1.26 Stalnoy Nagrudnik 42 (SN-42) [23]



Fig. 1.27 SN-42 [23]

Durante la Guerra de Corea, los americanos implementaron los conocidos como chaleco M-1951, compuestos por segmentos de plástico, reforzado con fibras, y aluminio, intercalados en un chaleco de nylon. Estos chalecos oficialmente soportaban el impacto de proyectiles con un calibre de 7,62 mm, pero no cumplieron con los objetivos como se esperaba. Por ello en 1967, apareció el chaleco T65-2, el primer chaleco diseñado para llevar placas cerámicas duras, capaz de soportar eficazmente el impacto de proyectiles como el mencionado previamente [24].

En 1970, la National Institute of Justice, introdujo en su programa, la fibra sintética Kevlar, también conocida como poliparafenileno tereftalamida, sintetizada por primera vez en 1965 por la empresa estadounidense DuPont, concretamente, por la química polaco-estadounidense Stephanie Kwolek. La ligereza y la excepcional resistencia a la rotura de estas poliamidas, la convirtieron en el material idóneo para la fabricación de

nuevos chalecos. Así en 1975, tras la aprobación por parte del NIJ del chaleco de Kevlar, como protección de uso diario policial, Richard A. Armellino, fundador de American Body Armour, diseñó el primer chaleco hecho completamente de Kevlar, el K-15, compuesto por 15 capas de este material y una placa de acero balístico, conocida como “Shok Plate”, situada sobre el corazón [23] [24].



Fig. 1.29 Fibras de Kevlar [25]

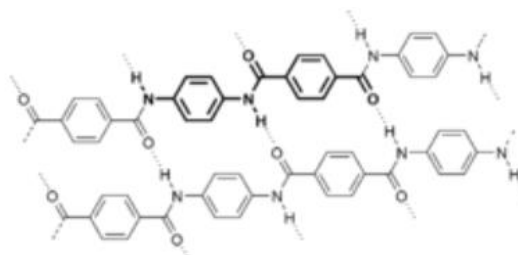


Fig. 1.28 Estructura molecular del Kevlar [25]

De esta forma, a mediados de los años 80, casi la mitad de las patrullas policiales norteamericanas, vestían diariamente este tipo de chalecos ocultables. En 2006, se registraron más de 2000 casos en los que chalecos hechos de Kevlar, permitieron salvar la vida de policías, confirmando así la eficacia de estas protecciones ligeras, y las “Shok Plate”, las cuales reducen el trauma por impacto y aumentan la protección contra proyectiles en la zona corazón/esternón [23].

En 1991, las fuerzas armadas estadounidense, comenzaron a emplear el Ranger Body Armour (RBA), un chaleco antibalas de Kevlar, sobre una base de nylon, que pesaba alrededor de 3,5 kg, y contaba con una certificación de nivel IIIA de protección. De esta manera, conseguía igualar la protección ofrecida por su predecesor, el Personal Armor System for Ground Troops PASGT, pero reducía la protección en cuello y hombro, respecto a este. El RBA, contaba con la posibilidad, de incluir dos placas, de 3,5 kg cada una, de material cerámico balístico (placas de Óxido de aluminio), que le permitían aumentar el nivel de protección, llegando a soportar hasta proyectiles de calibre 7,62x57 mm con chaqueta metálica. Con estas modificaciones, este chaleco se convirtió en la primera protección personal capaz de soportar el impacto de balas de fusil, pero añadiendo peso, hasta un total de alrededor de 11 kg [26].

En 1998, el RBA, fue sustituido, por el Interceptor Body Armour (IBA). Este chaleco, contaba con una composición muy similar a la del RBA, pero con fibras de Kevlar más gruesas (Kevlar KM2) y las placas cerámicas, estaban formadas por carburo de boro (el tercer material más duro conocido en la tierra después del diamante y el nitruro de boro), además incluía la posibilidad de añadir protecciones en brazos, cuello e ingle, mejorando así la protección del RBA. El conjunto completo de esta protección incluyendo las protecciones adicionales, previamente mencionadas, y las dos placas cerámicas, llega a los 15 kg. Este tipo de chalecos, se ha utilizado hasta 2015, por parte de algunas unidades de la guardia nacional estadounidense [26].

En 2007, el IBA, fue sustituido por el IOVT (Improved Outer Thactical Vest), el cual monta 4 placas de material cerámico balístico (una en la parte delantera, otra en la trasera, y una a cada lado del torso), con una estructura básica de Kevlar, que es incluso más ligera que la del IBA. El conjunto completo con todas la protecciones y placas, alcanza los 14kg, menos incluso, que el IBA, con materiales más resistentes y un mayor número de protecciones. Tanto el IOVT, como versiones modernas, tales como el Modular Body Armour (MBAV) y el Soldier Plate Carrier System (SPCS), son actualmente, los chalecos oficiales de las fuerzas armadas de los Estados Unidos, y por tanto sus especificaciones técnicas, en cuanto materiales y composición, son secretas debido a motivos de seguridad nacional [23] [26].

1.3.5 Normativa y ensayos aplicados a los chalecos antibalas.

Al igual que en el caso del blindaje de vehículos, también existe una norma del National Institute of Justice, la NIJ 0101.06 (de 2008), que certifica el nivel de protección que ofrece un chaleco antibalas. Esta norma se asemeja mucho a su homónima en el mundo de los blindajes de vehículos [17].





Table 4. NIJ Standard - 0101.06 P-BFS performance test summary															NIJ 0101.06 CERTIFIED
Armor Type	Weapon Type	Test Round	Test Bullet	Bullet Mass	Conditioned Armor Test Velocity*	New Armor Test Velocity*	Hits Per Panel at 0 Angle	Maximum BP's Depth	Hits Per Panel at 30 or 45 Angle	Shots Per Panel	Panel Size	Panel Condition	Penetration Required	Shots Required	Total Shots Required
IIA		1	9mm FMJ RN	8.0g (124gr)	355m/s (1165ft/s)	373m/s (1225ft/s)	4	44mm (1.37in)	2	6	Large Small	New Conditioned	4 2 4 2	24 12 24 12	144
		2	40 S&W FMJ	11.7g (180gr)	325m/s (1065ft/s)	352m/s (1155ft/s)	4	44mm (1.37in)	2	6	Large Small	New Conditioned	4 2 4 2	24 12 24 12	
II		1	9mm FMJ RN	8.0g (124gr)	379m/s (1245ft/s)	398m/s (1305ft/s)	4	44mm (1.37in)	2	6	Large Small	New Conditioned	4 2 4 2	24 12 24 12	144
		2	.357 Magnum JSP	10.2g (158gr)	408m/s (1340ft/s)	436m/s (1430ft/s)	4	44mm (1.37in)	2	6	Large Small	New Conditioned	4 2 4 2	24 12 24 12	
IIIA		1	375 SIG FMJ FN	8.1g (125gr)	430m/s (1410ft/s)	448m/s (1470ft/s)	4	44mm (1.37in)	2	6	Large Small	New Conditioned	4 2 4 2	24 12 24 12	144
		2	44 Magnum S&HP	15.6g (240gr)	408m/s (1340ft/s)	436m/s (1430ft/s)	4	44mm (1.37in)	2	6	Large Small	New Conditioned	4 2 4 2	24 12 24 12	
III		1	7.62 mm NATO FMJ	9.6g (147gr)	847m/s (2780ft/s)	-	6	44mm (1.37in)	0	6	All	Conditioned	4	24	24
IV		1	.30 Caliber M2 AP	10.8g (166gr)	878m/s (2880ft/s)	-	1-6	44mm (1.37in)	0	1 to 6	All	Conditioned	4 to 24	24	24
Special		-	Each test threat to be specified by armor manufacturer or procuring organization.					Armor performance and shot requirements shall depend on armor type.							

Fig. 1.30 Certificaciones, según la NIJ 0101.06 [17]



Fig. 1.31 Calibre y tamaño de los proyectiles soportados por los distintos niveles de protección, según la NIJ 0101.06 [17]

Para la determinación del nivel de protección que ofrece un chaleco antibalas, se realiza un ensayo estandarizado. Se coloca el chaleco sujeto en vertical, sobre un material plástico, a una distancia de entre 3 y 5 metros, del cañón de prueba. A una distancia aproximada de entre 0,5 y 1,5 metros, se monta un sensor, que activa el cronógrafo, y a una distancia exacta de 2 metros, se monta otro sensor que detiene el cronógrafo. Con la información relativa al tiempo que tarda en recorrer el proyectil la distancia entre ambos sensores, se establece la velocidad del proyectil. Tras el disparo, se retira el chaleco, para observar si el proyectil lo ha perforado o no, y en caso de hacerlo, se mide la deformación provocada sobre el material de apoyo, para analizar las mejoras necesarias en el material antibalas del chaleco [17].

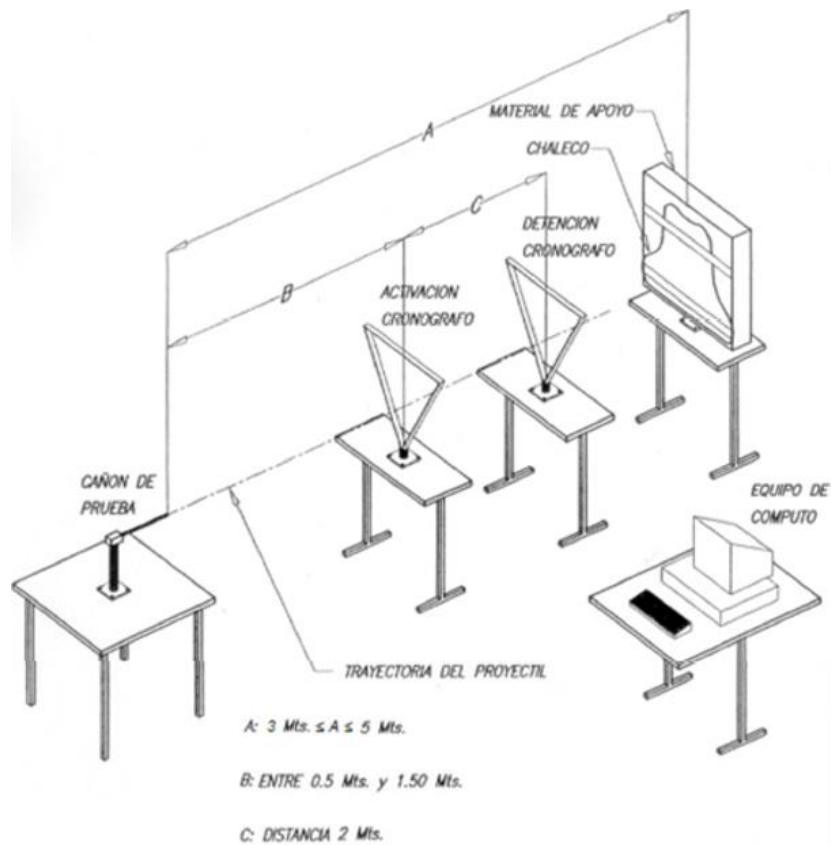


Fig. 1.32 Ensayo balístico según NIJ-0101.06 [17]



Fig. 1.34 Medición de la deformación en el material de apoyo [17]



Fig. 1.33 Chaleco sobre material de apoyo [17]

Pero además de todas estas normativas, materiales empleados y niveles de seguridad, también es interesante identificar las partes que componen un chaleco antibalas. En la actualidad, la gran mayoría de los chalecos tienen la siguiente estructura [17]:

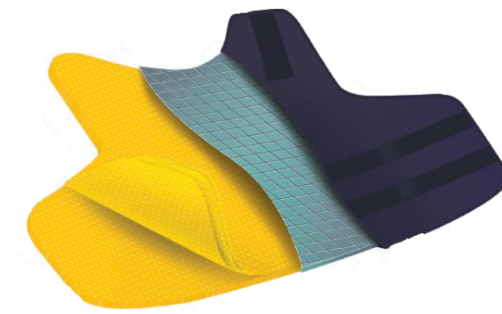


Fig. 1.35 Estructura interna del chaleco antibalas [17]

- Panel balístico (capa amarilla - inferior): Por lo general, se trata de un sistema conformado por varias capas de fibras de aramida configuradas para proteger al usuario contra un conjunto de amenazas balísticas y/o punzocortantes específicas
- Forro interno (capa gris - intermedia): esta capa protege al panel de balístico de humedades y otros factores exteriores, que puedan afectar al comportamiento de la capa inferior.
- Portador o “Carrier” (capa azul - superior): Es la prenda que sostiene los paneles balísticos frontal y posterior y, en su caso, también las placas balísticas. Debe ser diseñado para dar comodidad y movilidad al usuario, al mismo tiempo que resista el uso rudo en condiciones ambientales extremas.

Gracias a esta última capa, los chalecos modernos, presentan la posibilidad, de incorporar placas balísticas, para aumentar el grado de protección del chaleco, y así poder soportar el impacto de proyectiles de mayor calibre. Obviamente, la adición de estas placas, que suelen ser placas de material cerámico balístico con panel de respaldo hecho de tela Kevlar laminada, añade bastante peso, al mismo tiempo que resultan bastante efectivas [17].

1.3.6 Otras protecciones personales.

Además de los chalecos antibalas, también se emplean materiales con alta resistencia frente a impacto de proyectiles en otras protecciones, como puedan ser las protecciones para extremidades, cascos o escudos protectores.

Los cascos, al igual que en el caso de los chalecos, han evolucionado bastante, desde el primitivo casco de acero empleado en la Primera Guerra Mundial, hasta los cascos empleados en la actualidad.

El caso protector, se ha empleado también desde tiempos inmemoriales, pero desde el punto de vista de este proyecto, resulta más interesante analizar la evolución desde la industrialización, cuando se comenzó a tomar más conciencia y a perfeccionar el tratamiento y fabricación de nuevos materiales, para mejorar los resultados industriales.

La evolución de este elemento de seguridad, queda muy bien plasmada en la siguiente imagen, en la que se aprecia y especifica los materiales y la forma de los cascos empleados desde 1943, hasta 2012. También se muestra un modelo más actual, del que las especificaciones técnicas, como ha ocurrido en apartados anteriores de este mismo proyecto, son secretas o muy complicadas de conseguir, por motivos de seguridad nacional y de las fuerzas que emplean este tipo de elementos [17].



Fig. 1.36 Evolución cascos de protección, cortesía del Teniente Coronel D. Javier Blanco Gómez, Ingeniero de armamento [17]

Al igual que los chalecos antibalas, la certificación de seguridad de un casco protector frente a impacto de proyectiles, está regulada por una norma estadounidense, la NIJ-0106.01, la cual determina el nivel de seguridad y la metodología a seguir, a la hora de realizar los ensayos, y es específica para cascos [17].

Otro elemento de seguridad, en el que se podría aplicar el material de estudio de este proyecto de fin de grado, podrían ser los escudos protectores, empleados por los cuerpos

de policía fundamental, para evitar ser golpeados por proyectiles y otros objetos pesados que se les arrojen.

De la misma manera que los cascos y protecciones personales, el uso del escudo se remonta muchos años atrás, hasta la época sumeria (III milenio a.C., en Mesopotamia), cuando se tienen las primeras evidencias del uso de este tipo de herramienta.

Los materiales empleados en su fabricación han evolucionado, desde la madera, recubierta con bronce, cuero, etc., empleada en los primeros escudos conocidos, hasta la actualidad, con los escudos transparentes de policarbonato. Este último material, empleado también en este proyecto, se emplea en estos elementos por su gran resistencia al impacto, y también por dotar de visibilidad al portador, aunque algunos se construyen con metales ligeros, y se deja una apertura (protegida con policarbonato) a la altura de los ojos para permitir, como se ha comentado anteriormente, la visibilidad [17].

1.3.7 Entrevista con la policía nacional.

Tras realizar la búsqueda sobre información y documentación de los temas expuestos a lo largo de este capítulo, se observó que la gran mayoría de la información era de países extranjeros, y además, existe muy poca disponibilidad de información sobre especificaciones técnicas de los materiales empleados actualmente en este tipo de aplicaciones, por motivos, no solo de secreto industrial, ya que muchas empresas no publican dicha información para evitar plagios por parte de la competencia, si no también, por el hecho de que la mayoría de usuarios, son miembros de la policía o el ejército, y no es de fácil acceso por motivos de seguridad nacional.

Ante esta situación, se mantuvo contacto con un inspector jefe de la policía nacional, quien amablemente, concertó una entrevista con el técnico del Servicio de Armamento de la policía nacional en Madrid, el señor Javier de la Concepción.

En dicha entrevista, se pudieron resolver numerosas cuestiones referentes al material empleado y las especificaciones técnicas de los chalecos antibalas y blindajes de vehículos empleados actualmente por el cuerpo de policía nacional, así como los ensayos realizados en los laboratorios y los requisitos mínimos exigidos a las empresas privadas que suministran este tipo de productos.

El señor Javier de la Concepción, ingeniero mecánico de la policía nacional, amablemente facilitó dos pliegos, uno sobre las prescripciones técnicas para la adquisición de chalecos antibala, anticuchillo y antipunzón, así como un pliego con las especificaciones técnicas para la adquisición de vehículos blindados radiopatrulla, los cuales se añaden, con las aclaraciones realizadas por el técnico en el momento de la entrevista, como Anexos 1 y 2 respectivamente, al final de este proyecto.

Gracias a estas especificaciones, se podrá conocer mejor el estado del arte en nuestro país en dichos ámbitos, y también se podrán emplear las mismas para conocer la validez del material de estudio como elemento aplicable a alguna de estas industrias.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La finalidad de este capítulo es introducir los conocimientos necesarios, adquiridos a lo largo del Grado en Ingeniería Mecánica, así como otros de carácter básico para el desarrollo de este proyecto. Al mismo tiempo con esta información también se tratará de explicar el funcionamiento de la herramienta de simulación, basada entre otros, en el teorema de los elementos finitos, del que se hablará en detalle a lo largo de este capítulo.

2.1 Balística.

El diccionario de la Real Academia Española define la palabra “*balística*”, como el “estudio del movimiento y efectos de los proyectiles de las armas de fuego” [27].

Los estudios de balística, forman parte a su vez de estudios militares y forenses. En este último ámbito, apareció una rama de la balística conocida como balística forense, la cual “estudia ciertos aspectos técnicos de los proyectiles, y sus efectos sobre tejidos biológicos, y su interacción con otros objetos con el fin del esclarecimiento de presuntos delitos”. Gracias a estos estudios, la balística forense, tiene una gran utilidad en estudios criminológicos para la identificación del arma que ha disparado el proyectil [28].

Tanto la balística clásica, como la balística forense, se centran fundamentalmente en el análisis de distintas variables que afectan a los proyectiles en diferentes ambientes de empleo, como son entre otras, las fuerzas, trayectorias, rotaciones, etc. Pero también estudian otras variables, como pueden ser la forma del proyectil, sustancias, temperaturas, presiones, etc., las cuales actúan a lo largo de las distintas fases del disparo. Estas fases del disparo definen las distintas partes de la balística, que abarcan desde el desplazamiento a lo largo del ánima, hasta el impacto del proyectil y sus consecuencias. Dichas partes son las siguientes [28] [29]:

- *Balística interior/funcional*: se ocupa del estudio de las características y funcionamiento de las armas de fuego, y sus efectos sobre los proyectiles (Presión, velocidad y rotación transmitida al proyectil).
- *Balística intermedia*: estudia la fase inicial de la trayectoria (<10m), desde el momento en que el proyectil abandona la boca del arma. Esta parte, se basa en estudios de mecánica de fluidos y la ley de resistencia.

- *Balística exterior:* estudia el comportamiento del proyectil desde que abandona la boca del arma de fuego, hasta su impacto con el objetivo. En esta parte se definen varios tipos de velocidad, fundamentales en cualquier estudio balístico:
 - *Velocidad inicial:* se trata de la medida justo después de abandonar el arma, aunque en el caso concreto de este proyecto, para la simulación de Abaqus, se toma como velocidad inicial, la velocidad de impacto del proyectil.
 - *Velocidad remanente:* es la velocidad medida en cualquier punto de la trayectoria del proyectil.
 - *Velocidad residual:* velocidad del proyectil medida justo después de que el proyectil atraviese el objetivo
 - *Velocidad del límite balístico:* aquella velocidad a la que el proyectil debe viajar para perforar un blanco determinado sin guñada ni oblicuidad. El modo más utilizado para expresar esta velocidad es V50. Esta probabilidad se puede hallar promediando 6 valores, las 3 menores velocidades de impacto que alcanzan penetraciones parciales, y la media de las 3 velocidades más altas que conseguirán penetración completa, que ahí que sea la velocidad límite de perforación con la probabilidad del 50%.
- *Balística de efectos:* analiza las consecuencias producidas por el proyectil, sobre el objetivo en el que impacta.
- *Balística identificativa:* Esta parte, es específica de la balística forense, y se encarga de establecer las relaciones entre los efectos generados en el objetivo, con el tipo de munición y sus características (fuerza, velocidad, rotación, etc.) en el momento del impacto, transmitidas por el arma que la ha disparado, para poder identificar el tipo de arma empleada en un delito.

El presente proyecto de fin de carrera, se centrará en los estudios de balística exterior y de efectos, ya que se tratará de determinar el límite balístico del material de estudio, así como el calibre máximo, sin penetración completa, al mismo tiempo que analiza la deformación y tensiones experimentadas por el material en el momento del impacto.

2.1.1 Impacto balístico.

El impacto balístico, es definido como la colisión entre proyectil y blanco a una determinada velocidad, tal que deben considerarse los efectos inerciales y la propagación de ondas de tensión en el material. Así, dos variables muy a tener en cuenta en la balística son la velocidad de deformación y la velocidad de impacto. Por parte del material, debe considerarse un comportamiento termoviscoplastico, ya que la tensión que éste alcance (σ), así como la evolución de su límite elástico (σ_y), vendrá influenciada por la deformación plástica (ε_p), la temperatura (θ) y la velocidad de deformación [28] [29].

$$\left(\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt \right) \quad (2.1)$$

2.1.2 Energía de impacto.

En balística, esta energía se refiere básicamente, a la energía cinética transmitida por el proyectil al objetivo. Esta define verdaderamente el poder de un proyectil, ya que es inútil, un proyectil rápido pero ligero, del mismo modo que también lo es un proyectil pesado pero lento [28] [29].

La energía de impacto no depende de la forma del proyectil siempre y cuando la masa de este se mantenga constante. Por ejemplo, dos proyectiles con la misma masa, uno plano y otro con punta, disparados a corta distancia, transmitirán la misma energía al objetivo, independientemente de su forma. Pero cabe destacar, que, por motivos de resistencia aerodinámica, si se realiza el mismo experimento a una distancia suficientemente grande, la velocidad remanente con que llegará el proyectil plano, será menor que la del proyectil con punta, ya que este último, ejerce una menor resistencia al aire [28] [29].

La energía cinética o, en este caso, de impacto, se calcula de la siguiente manera:

$$E = M(V^2)/2 \quad (2.2)$$

Donde la energía obtenida se medirá en Julios (J), y las variables de masa y velocidad, en kilogramos (kg) y metros por segundo (m/s).

2.1.3 Presión de impacto.

A diferencia de la energía, la presión de impacto sí que depende de la forma del proyectil.

A partir de la energía de impacto/cinética, se puede obtener la fuerza con que el proyectil ha impactado sobre el objetivo, ya que esta energía, calculada con la formula anterior, queda expresada en Julios. Un Julio (J) equivale a 1 newton-metro (Nm), por lo que, dividiendo la energía entre la distancia recorrida por el proyectil, obtendremos la fuerza que este ejerce sobre dicho material, expresada en Newton (N) [28] [29].

Una vez obtenida la fuerza de impacto, se obtiene la presión de impacto que depende de la superficie de contacto entre proyectil y objetivo. Aquí es donde, como se ha comentado anteriormente, interviene la forma del proyectil. La presión se obtiene de la siguiente forma:

$$p = F/S \quad (2.3)$$

Donde, la superficie (S), se refiere a la superficie con que contacta el proyectil con la placa, de tal manera, que cuanto menor sea la superficie de contacto, mayor será la presión ejercida, y por tanto su poder de penetración.

Por consiguiente, en el caso expuesto en el apartado anterior, con dos proyectiles, uno plano y otro con punta, disparados a la misma velocidad, contra el mismo material, el proyectil con punta tendrá mayor poder de penetración y por tanto generará una mayor deformación o en caso de vencer el material, una mayor fractura del mismo [28] [29].

2.1.4 Velocidades de impacto y efectos sobre el objetivo.

Una de las formas más sencillas de clasificar los distintos impactos con proyectiles, es según la velocidad de impacto. Para hacer esta clasificación habría que tener en cuenta otras variables, como son el material y sus propiedades, así como la geometría del proyectil. Pero de forma general, la velocidad es suficiente para clasificar los efectos de los proyectiles sobre el objetivo, y las variables previamente mencionadas, agravarán o suavizarán dichos efectos [28].

Por tanto, dicha clasificación se describe como sigue [28]:

- *Impacto a baja velocidad ($v < 50 \text{ m/s}$):*
- *Impacto a velocidad media ($50 \text{ m/s} < v < 500 \text{ m/s}$)*
- *Impacto a alta velocidad ($500 \text{ m/s} < v < 2000 \text{ m/s}$)*
- *Impacto a hipervelocidades ($v > 2000 \text{ m/s}$)*

Es importante indicar, que el comienzo del presente proyecto de fin de carrera se centra en el segundo tipo de impacto, con velocidades medias de entre 50 y 500 m/s, utilizando las mismas velocidades empleadas en el ensayo empírico. Una vez validado el modelo numérico con los resultados experimentales, sería interesante variar dichas velocidades según las normativas mencionadas en el capítulo anterior, para conocer la validez del material híbrido como material de blindaje o protección personal.

2.1.5 Efecto Ricochet.

En condiciones normales, es muy complicado, que un proyectil impacte de forma totalmente perpendicular a la superficie del objetivo. En este caso, se puede producir lo que se conoce como efecto Ricochet, o en español, efecto Rebote. Dependiendo del material y de los factores que se mencionan a continuación, el ángulo crítico para que se produzca dicho efecto variará de una forma bastante complicada de predecir, si no es por medio de ensayos empíricos [30].

Por un lado, se tiene la oblicuidad, es decir, el ángulo que forma la trayectoria del proyectil respecto a la superficie del material. Esta oblicuidad, se puede deber a varios motivos, como pueden ser el ángulo de disparo, la dificultad de, realizando un disparo a pulso, poder conseguir una trayectoria perpendicular, el retroceso del arma, etc.

Por otro lado, la guiñada, que hace referencia al ángulo entre el eje de simetría del proyectil y la tangente a su trayectoria. Este ángulo varía dependiendo del tipo de proyectil, de tal manera que, al aumentar este ángulo, mayor probabilidad de que se produzca dicho efecto rebote.

Y, por último y no menos importante, la resistencia del aire que, en casos de bajas velocidades o disparos de muy largas distancias, pueda afectar al ángulo de impacto y facilitar de nuevo dicho efecto.

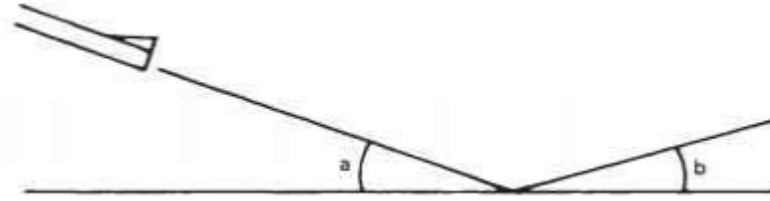


Fig. 2.1 Ángulo a=ángulo de impacto u oblicuidad; ángulo b=ángulo de rebote [30]

Teniendo en cuenta todos estos factores y las características del material, se pueden realizar ensayos para determinar el ángulo crítico de impacto para que se produzca este efecto y también el ángulo de rebote [30].

Además, cabe destacar que, tras el impacto en el que se produce un efecto rebote, el proyectil pierde gran parte de su velocidad de impacto (hasta un 35% de la misma, según diferentes tests), y su estabilidad [30].

2.1.6 Inclinación del blindaje.

En el primer capítulo, sobre todo en el apartado referente a la evolución histórica de los blindajes en los carros de combate, se ha hablado en varias ocasiones de las mejoras que supuso la inclinación de los blindajes tanto a niveles de protección como a niveles de peso, pero ¿a qué se debe esta mejora?

La oblicuidad y la guiñada, disminuyen las capacidades penetradoras de los proyectiles, no solo por su posible favorecimiento del efecto Ricochet, sino también, en caso de impacto con penetración total o parcial, por reducir la eficacia del proyectil y mejorar la protección respecto a una configuración totalmente oblicua. Esto se debe a dos motivos [7]:

Por un lado, al penetrar con un cierto ángulo, el proyectil debe atravesar una mayor cantidad de material, por lo que aumenta su espesor virtual. A este efecto se le conoce como “efecto geométrico”.

Por otro lado, al alcanzar una superficie inclinada, la trayectoria del proyectil se ve interrumpida, y seguirá una nueva trayectoria de menor eficiencia energética a la inicial, a través del blanco, lo que se conoce como “efecto disruptor”.

Teniendo todo lo anterior en cuenta, los diseñadores de los blindajes, emplean la inclinación de los mismo para conseguir la misma protección con espesores menores o materiales menos costosos, y conseguir grandes ahorros económicos en material.

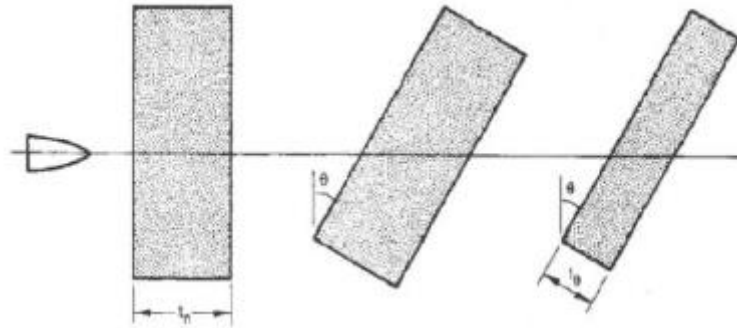


Fig. 2.2 Blindaje dispuesto en diferentes ángulos. Fuente: Lamo, J. (2014) [7]

En el primer capítulo, se habló de la revolución que supuso el modelo T-64 soviético, el primer carro de combate fabricado con un blindaje de material compuesto. En la siguiente imagen se muestra el espesor total de dicho blindaje, con los espesores específicos de cada capa del material compuesto (acero + 2 capas de material cerámico + acero), y como su inclinación de 68° aumenta el espesor virtual a más del doble del total inicial [7].

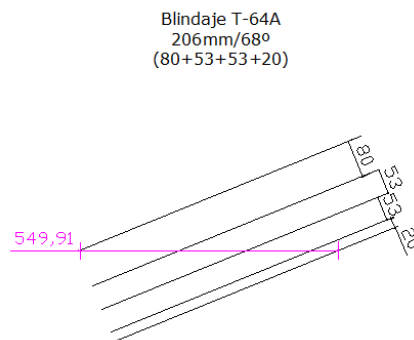


Fig. 2.3 Blindaje compuesto del T-64 [7]

2.2 Comportamiento mecánico.

2.2.1 Caracterización mecánica: ensayo de tracción uniaxial.

Previo a la descripción del comportamiento mecánico de un material, es necesario hablar del ensayo de tracción uni-axial. Este ensayo, permite conocer, a través de la curva tensión-deformación, el comportamiento de un material sometido a una carga en dirección uni-axial, hasta la rotura de este.

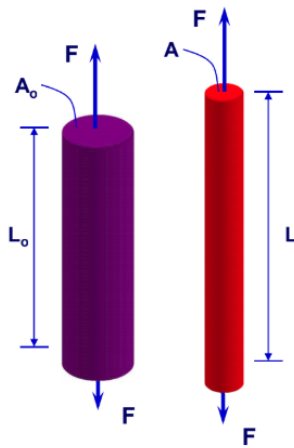


Fig. 2.4 Ensayo de tracción simple [31]

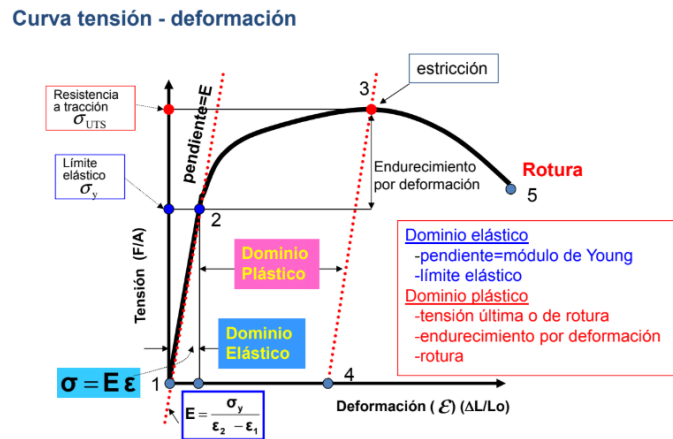


Fig. 2.5 Curva tensión-deformación [31]

Cada material posee sus propias características, de tal manera, que, al estar sometidos al mismo ensayo de tracción simple, cada material se comportará de una forma diferente. En la curva tensión deformación, según el grado de deformación alcanzado, podrían diferenciarse tres fases de su comportamiento: elástico, plástico y rotura [31].

2.2.2 Comportamiento elástico.

Desde el estado de reposo, sin carga aplicada, hasta el límite elástico (definido en la Fig. 2.5 como σ_y), el material presenta un comportamiento lineal, cuya pendiente define el módulo de Young (E). Este comportamiento lineal, relaciona la tensión soportada por el material (σ), con la deformación experimentada por este (ϵ), y es definido por la Ley de Hooke [31]:

$$\sigma = E\epsilon \quad (2.4)$$

Del mismo modo, es necesario definir el concepto de deformación y tensión, tanto ingenieril, como verdadera.

La deformación (ϵ), representa la relación, entre el incremento de longitud experimentado, como consecuencia de la carga aplicada, respecto de la longitud inicial, de tal manera, que el valor resultante es adimensional. Por otro lado, tenemos la tensión (σ), que representa la fuerza por unidad de superficie soportada por el sólido. Cabe señalar, que la diferencia entre los valores verdaderos e ingenieriles es básicamente, que los valores ingenieriles, suponen una aproximación de la realidad, ya que presuponen que, las deformaciones experimentadas por el sólido son tan pequeñas, que se puede suponer en los cálculos que tanto la longitud inicial, como la superficie inicial, permanecen invariables, durante la deformación elástica. Mientras que, en el caso de los valores verdaderos, utilizan la superficie y longitud exacta en cada momento [31].

Deformación ingenieril	$e = \frac{L - L_o}{L_o}$
Tensión ingenieril	$S = \frac{F}{A_o}$

Fig. 2.6 Deformación y tensión ingenieril [31]

Deformación verdadera	$\epsilon = \int_{L_o}^L \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{L}{L_o}\right)$
Tensión verdadera	$\sigma = \frac{F}{A}$

Fig. 2.7 Deformación y tensión verdaderas [31]

Estos valores ingenieriles y verdaderos se relacionan entre sí de la siguiente forma:

$$\sigma = S(1 + e) \quad y \quad \epsilon = \ln(1 + e)$$

Fig. 2.8 Relación entre valores ingenieriles y verdaderos [31]

También es necesario hablar del efecto Poisson, el cual establece la relación de las deformaciones de los otros dos ejes ortogonales de coordenadas, en función de la deformación experimentada, como consecuencia directa de la aplicación de la carga. De forma general, trata de explicar y calcular el estrechamiento de sección que experimenta el sólido cuando este se alarga, al aplicar una fuerza en dirección longitudinal [31].

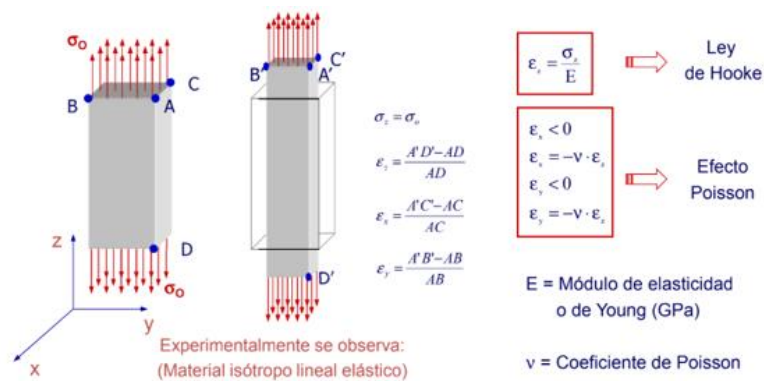


Fig. 2.9 Deformación en los ejes "x" e "y", según el efecto Poisson al aplicar una carga en el eje "z" [31]

Pero un sólido, no solo está sometido a tensiones normales, perpendiculares a las superficies de este, sino que también experimenta tensiones paralelas a dichas superficies, conocidas como tensiones tangenciales o de cortadura (τ), y estas generan a su vez deformaciones angulares (γ), que no producen deformaciones longitudinales a lo largo de un eje de coordenadas, sino que generan rotaciones en el plano que contiene el lado del sólido [31].

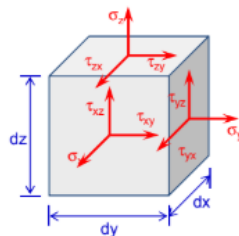


Fig. 2.10 Estado tensional de un sólido [31]

Una vez realizadas todas las definiciones pertinentes, se presentan las leyes de Hooke y Lamé generalizadas, para el cálculo de las deformaciones y tensiones, tanto tangenciales como normales, de un sólido en un estado elástico

Ley de Hooke generalizada	Ecuaciones de Lamé	
$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_y + \sigma_z)$ $\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_z)$ $\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y)$ $\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$ $\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G}$ $\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$	$\sigma_x = 2G\varepsilon_x + \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$ $\sigma_y = 2G\varepsilon_y + \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$ $\sigma_z = 2G\varepsilon_z + \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$ $\tau_{xy} = 2G\varepsilon_{xy}$ $\tau_{xz} = 2G\varepsilon_{xz}$ $\tau_{yz} = 2G\varepsilon_{yz}$	<div> Módulo de elasticidad a cortadura, (GPa) $G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$ </div> <div> Constante de Lamé, (GPa) $\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$ </div> <div> Módulo de compresión, (GPa) $K = \frac{E}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}$ </div>

Fig. 2.11 Leyes generalizadas de Hooke y Lamé [31]

Una vez presentadas las ecuaciones que rigen el comportamiento elástico de un material, se va a proceder a describir dicho comportamiento.

El comportamiento elástico (definido en la Fig. 2.5 como tramos 1-2) se caracteriza principalmente, por el hecho de que sus deformaciones, como muestra la Ley de Hooke, dependen directamente de las tensiones, de tal forma, que, si se dejan de aplicar cargas sobre el sólido, este recupera su forma inicial, y desaparecen las deformaciones elásticas. Estas deformaciones elásticas, se deben a variaciones en los espacios interatómico, de tal manera que, si estas variaciones son lo suficientemente pequeñas, las variaciones en las fuerzas intermoleculares pueden aproximarse linealmente. En ciertos materiales, como los elastómeros (de estructura amorfa), la relación entre tensión y deformación elástica, puede ser no lineal [31].

Este comportamiento lineal, se mantiene hasta alcanzar el límite elástico, también conocido como tensión de plastificación, a partir del cual, comenzaría el comportamiento elasto-plástico [31].

El límite elástico, a su vez depende de la velocidad de deformación, aumentando, por lo general, dicho límite, si aumenta la velocidad de deformación [31].

$$(\varepsilon' = \frac{d\varepsilon}{dt}) \quad (2.5)$$

La relación entre el límite elástico y la velocidad de deformación se puede representar de diversas formas: con relaciones exponenciales, logarítmicas, etc.

Y también depende de la temperatura, de tal manera, que cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la deformación que pueda experimentar el material sin romperse, y menor será la tensión necesaria para alcanzar dicha deformación [32].

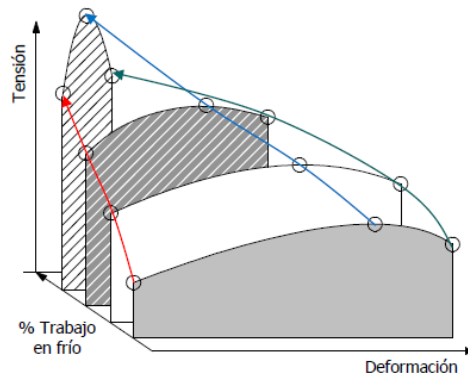


Fig. 2.12 Variación de la curva tensión-deformación, en función de la temperatura [32]

2.2.3 Comportamiento elasto-plástico.

Una vez superado el límite elástico (σ_y), comenzaría el comportamiento elasto-plástico. Este comportamiento se caracteriza por la aparición de deformaciones permanentes, que no se recuperan cuando cesan las cargas. Estas deformaciones corresponden a desplazamientos relativos entre átomos, que resultan estables al cesar la sollicitación, por lo que a pesar de recuperarse ligeramente (debido a la parte elástica de la deformación), siempre quedará una deformación permanente o plástica [33].

Dependiendo del comportamiento plástico de un material, se puede distinguir entre materiales dúctiles y frágiles, de tal manera que, si un material puede soportar grandes deformaciones plásticas antes de la fractura, será considerado como un material dúctil, y si por el contrario, apenas soporta deformaciones plásticas, entonces se tratará de un material frágil [34].

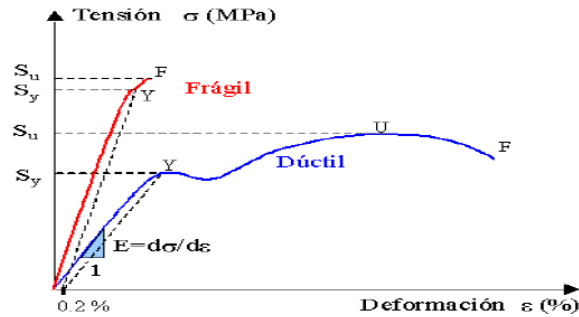


Fig. 2.13 Curva tensión-deformación materiales dúctiles y frágiles [34]

Durante la deformación elasto-plástica, se produce un fenómeno conocido como endurecimiento por deformación plástica, por el cual, un material se vuelve más resistente al deformarse plásticamente. En el caso de la deformación uni-axial, este endurecimiento, se traduce en un crecimiento en la curva de tensión-deformación, y un aumento del límite elástico o tensión de plastificación. De tal manera, que se producirá un endurecimiento por deformación en aquellos casos en los que, al mismo tiempo, se satisfaga el criterio de plastificación (del que se hablará más adelante) y haya un incremento de la deformación plástica. Así, sabiendo que el límite elástico no varía en descargas, este dependerá de toda la historia de deformaciones plásticas del material [33].

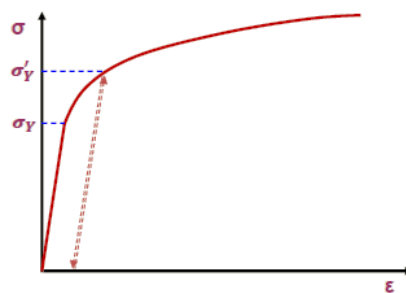


Fig. 2.14 Concepto de endurecimiento por deformación plástica [33]

Algunos materiales, presentan un “ablandamiento” (un descenso en la curva tensión-deformación y del límite elástico) suave, seguido de un endurecimiento por deformación, como es el caso del material dúctil de la Fig. 2.13.

Del mismo modo, cuando se ha producido deformación plástica, tiene lugar otro efecto, conocido como efecto Bauschinger, por el cual, se produce una disminución del límite elástico a compresión respecto al obtenido en un ensayo previo de tracción [35].

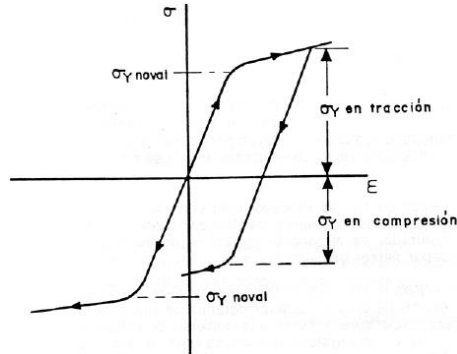


Fig. 2.135 Efecto Bauschinger [35]

2.2.4 Criterios de plastificación

Otro concepto muy importante, del que se va a hablar en este apartado, es el tema de los criterios de plastificación. Para hablar con propiedad de dichos criterios, se deben introducir algunos términos y conceptos fundamentales [36].

El primero de ellos serían las denominadas como tensiones principales, las cuales se obtienen como sigue:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = -[\sigma^3 - \tilde{I}_1 \sigma^2 + \tilde{I}_2 \sigma - \tilde{I}_3] = 0$$

$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \text{Invariantes} \end{matrix}$

Fig. 2.1614 Tensiones principales [36]

donde los invariantes son los conocidos como invariantes de Cauchy. El término invariante, hace referencia al hecho de que estas magnitudes no varían, independientemente del sistema de referencia tomado, y son definidos de la siguiente manera [36]:

$$\begin{aligned}
\tilde{I}_1 &= \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\
\tilde{I}_2 &= (\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx} - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2) &= \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1 \\
\tilde{I}_3 &= \sigma_{xx}\sigma_{yy}\sigma_{zz} + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \tau_{xx}\tau_{yy}\tau_{zz} - \tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{xx} - \tau_{yz}\tau_{zy}\tau_{xx} &= \sigma_1\sigma_2\sigma_3
\end{aligned}$$

Fig. 2.17 Invariantes de Cauchy [36]

De la combinación de estos invariantes, a su vez se derivan otros, conocidos como invariantes genéricos [36]:

$$\begin{aligned}
I_1 &= \tilde{I}_1 &= \text{tr}(\sigma) &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\
I_2 &= \frac{1}{2}\tilde{I}_1^2 - \tilde{I}_2 &= \frac{1}{2}\text{tr}(\sigma_{ip}\sigma_{pi}) = \frac{1}{2}\text{tr}(\sigma^2) &= \frac{1}{2}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) \\
I_3 &= \frac{1}{3}\tilde{I}_1^3 - \tilde{I}_1\tilde{I}_2 + \tilde{I}_3 &= \frac{1}{3}\text{tr}(\sigma_{ip}\sigma_{pq}\sigma_{qi}) = \frac{1}{3}\text{tr}(\sigma^3) &= \frac{1}{3}(\sigma_1^3 + \sigma_2^3 + \sigma_3^3)
\end{aligned}$$

Fig. 2.18 Invariantes genéricos [36]

El tensor de tensiones, a su vez está formado por dos componentes, la componente hidrostática y la componente desviadora [36].

Tensión hidrostática: $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}}{3} = \frac{\sigma_{ii}}{3} = \frac{I_1}{3}$

Componentes del tensor desviador

$s_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij}\bar{\sigma}$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\sigma} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{\sigma} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{\sigma} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{xx} - \bar{\sigma} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} - \bar{\sigma} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} - \bar{\sigma} \end{bmatrix}$$

Tensor hidrostático σ_{ij}^h

Tensor desviador s

Fig. 2.19 Componentes del tensor de tensiones [36]

Así, al tener la misma forma, el tensor de tensiones y la componente desviadora, se pueden obtener los invariantes genéricos de la componente desviadora [36].

$$\begin{cases} J_1 = 0 \\ J_2 = \frac{1}{2}(s_1^2 + s_2^2 + s_3^2) \\ J_3 = \frac{1}{3}(s_1^3 + s_2^3 + s_3^3) \end{cases} \quad \begin{aligned} &= \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2] \\ &\quad \uparrow \\ &\text{(en función de las tensiones **principales** del tensor de **tensiones totales**)} \end{aligned}$$

Fig. 2.20 Invariantes genéricos de la componente desviadora del tensor de tensiones [36]

Una vez introducidos los conceptos de invariantes, las componentes hidrostática y desviadora del tensor de tensiones, y las tensiones principales, se plantearán una serie de hipótesis válidas para los materiales metálicos [36]:

- **La primera hipótesis**, supone el material, como un material isótropo, es decir, un material que se comporta de la misma manera en los tres ejes de coordenadas. Esta hipótesis convierte automáticamente, el tensor de tensiones en una matriz simétrica, de esta manera, el criterio de plastificación únicamente requerirá de 3 cantidades invariantes asociadas al tensor de tensiones, ya sean los invariantes genéricos de dicho tensor, o las tensiones principales.
- **La segunda hipótesis**, hace referencia al hecho de que la plastificación es independiente de la componente hidrostática, ya que esta no genera cambios permanentes de volumen, al no inducir movimientos de dislocaciones ni maclado. Por lo que la plastificación únicamente dependerá de la componente desviadora, pudiendo expresarse el criterio de plastificación en función de tres cantidades invariantes del tensor desviador, ya sean sus invariantes o tensiones principales.
- **La tercera hipótesis**, supone el mismo comportamiento a tracción que a compresión, es decir, supone la ausencia del efecto Bauschinger, previamente descrito. De esta manera, al ser el primer invariante igual a cero, y sabiendo por la experiencia y ensayos empíricos que la influencia del tercer invariante del tensor desviador es mínima, el criterio de plastificación se puede describir en función únicamente del segundo invariante del tensor desviador.

De las tres hipótesis previas, se obtiene que la superficie de plastificación (lugar geométrico del espacio de las tensiones principales donde se verifica el criterio de plastificación) y por lo tanto la función de plastificación, solamente depende del segundo invariante del tensor de tensiones desviador J_2 [36]:

$$f(J_2) = 0 \quad (2.6)$$

Para conseguir una representación visual del criterio de plastificación, que, en mi opinión personal, facilita la comprensión de este concepto, se debe representar en ejes principales el plano π o plano desviador, definido como, $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$, y los puntos Q_1 y Q_2 [36].

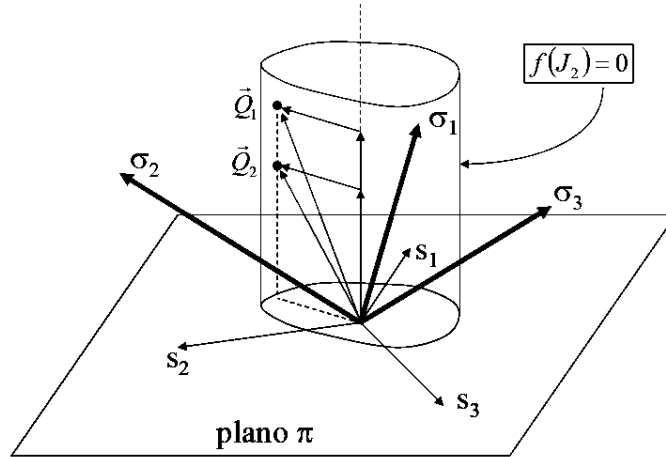


Fig. 2.21 Representación gráfica de la superficie de plastificación de Haig-Westergaard [36]

Los vectores OQ_1 y OQ_2 , vienen definidos de la siguiente forma:

$$\vec{OQ} = \vec{OP} + \vec{PQ} \quad \vec{OP} = (\sigma_h, \sigma_h, \sigma_h) \quad \vec{PQ} = (\sigma_1 - \sigma_h, \sigma_2 - \sigma_h, \sigma_3 - \sigma_h) \\ \vec{OQ'} = (s_1, s_2, s_3)$$

Fig. 2.22 Definición vectores, representación geométrica de Haig-Westergaars [36]

En esta representación de dos estados tensionales Q_1 y Q_2 , los puntos que, al representar sus estados tensionales, queden en el interior de la superficie de plastificación, se encontrarán aun en régimen elástico, mientras que los situados sobre dicha superficie, habrán entrado en régimen elasto-plástico [36].

Al comparar ambos estados tensionales, se puede observar, como las variaciones en la componente hidrostática (vector OP , siendo P la proyección vertical de Q), no afectan a la plastificación, y será únicamente la componente desviadora (vector OQ' , siendo Q' la proyección horizontal de Q) la que hará que el sólido plastifique o no [36].

Una vez definida la superficie de plastificación, se podrá hablar de los dos principales criterios de plastificación., los cuales difieren en la geometría de dicha superficie de plastificación. Estos criterios, son el criterio de Tresca-Guest y el criterio de Von Mises-Hencky-Nadai.

2.2.4.1 Criterio de Tresca-Guest.

Según este criterio, “En una situación tridimensional general, la plastificación se produce cuando la tensión tangencial máxima alcanza un valor igual al que se alcanza en un ensayo de tracción uni-axial en el instante en el que comienza la plastificación”. Donde la tensión tangencial máxima en el ensayo de tracción uni-axial será [36]:

$$\tau = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \quad (2.7)$$

Donde, al estar en un estado de tracción uni-axial, solo existe una tensión, que en el momento de plastificación será igual al límite elástico, por lo que dicha tensión tangencial crítica será [36]:

$$\tau_{crítica} = \frac{\sigma_Y}{2} \quad (2.8)$$

Por lo que, al igualar el segundo invariante del tensor desviador a esta tensión tangencial máxima, la superficie de este criterio de plastificación será un prisma hexagonal [36].

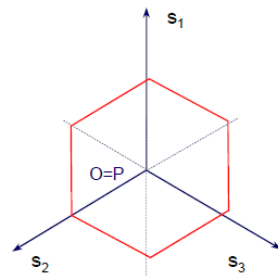


Fig. 2.23 Representación criterio de Tresca-Guest en deformación plana [36]

2.2.4.2 Criterio de Von Mises-Hencky-Nadai.

Para la descripción de este criterio, es necesario comprender el término energía de distorsión. Esta energía de distorsión hace referencia a la energía consumida para obtener un cambio de forma de un elemento de volumen, sin cambio en dicho volumen, y se describe de la siguiente manera [36]:

$$U^d = U^T - U^V \quad (2.9)$$

Donde U^T , es la energía total suministrada por fuerzas externas, y U^V , es la energía necesaria para producir un cambio de volumen sin cambio de forma. De esta forma, el criterio de Von Mises-Hencky-Nadai, propone que “En una situación tridimensional general, la plastificación se produce cuando la energía de distorsión alcanza un valor igual al que alcanza en un ensayo de tracción uni-axial en el instante en el que comienza la plastificación”. El valor de dicha energía de distorsión crítica en el ensayo de tracción uni-axial será [36]:

$$U_{crítica}^d = \frac{1}{2G} J_2 = \frac{1}{6G} \sigma_Y^2 \quad (2.10)$$

En lugar de representar dicho criterio en función de J_2 , cuyas unidades son de MPa^2 , se expresará en función de la “tensión equivalente de Von Mises” (q) [36].

$$J_2 = \frac{\sigma_Y^2}{3} \quad (2.11)$$

$$\sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_Y \quad (2.12)$$

Por tanto, el criterio de Von Mises, dice que “En una situación tridimensional general, la plastificación se producirá cuando la tensión equivalente de Von Mises alcanza el valor igual al limte elástico del material, medido en el ensayo de tracción uni-axial” [36].

$$q = \sigma_Y \quad (2.13)$$

Al representar este criterio gráficamente en el plano descrito anteriormente, la forma de dicha superficie de plastificación será un cilindro [36].

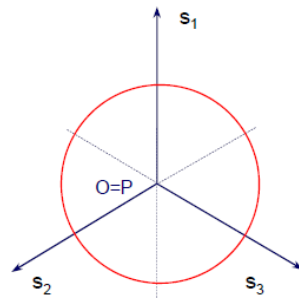


Fig. 2.24 Representación criterio de Von Mises-Hencky-Nadai en deformación plana [36]

2.2.4.3 Comparación de ambos criterios.

Para realizar dicha comparación, se pueden representar en el mismo eje de direcciones principales, observándose como, el criterio de Von Mises, equivale a un cilindro circunscrito al prisma hexagonal del criterio de Tresca [36].

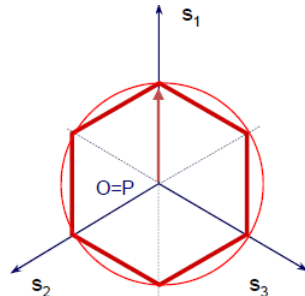


Fig. 2.25 Representación de ambos criterios de plastificación [36]

Estos criterios, solo coincidirán prediciendo la plastificación en el caso de tracción uni axial, donde tanto en el criterio de Tresca, como el de Von Mises, la plastificación se producirá cuando la única tensión principal sea igual al límite elástico. En la representación gráfica estos puntos equivalen a los vértices del hexágono de Tresca circunscritos en la circunferencia de Von Mises [36].

Pero analizando cualquier otro caso, como por ejemplo, el caso de cortante puro, donde $\sigma_1 = -\sigma_3$ y $\sigma_2 = 0$, el criterio de Tresca predice la plastificación, para un valor de $\sigma_1 = \frac{\sigma_Y}{2}$, mientras que en criterio de Von Mises, se dará para $\sigma_1 = \frac{\sigma_Y}{\sqrt{3}}$ [36].

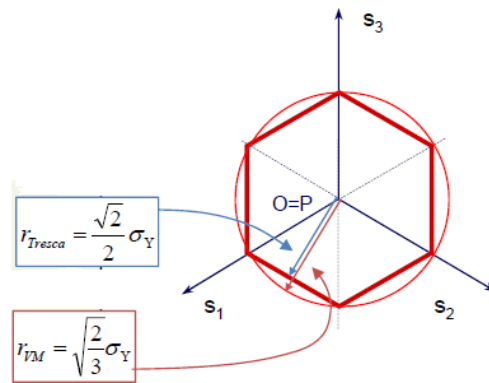


Fig. 2.2615 Representación estado cortante puro, según ambos criterios [36]

Se puede concluir que, el criterio de Tresca es más conservador, ya que predice la plastificación para tensiones menores que el criterio de Von Mises.

2.3 Modelo de Johnson-Cook.

Como se ha comentado en el apartado anterior, los criterios de plastificación expuestos en dicho apartado, son válidos para materiales metálicos, como es el caso, en este proyecto, del Aluminio empleado en los ensayos, pero dichos criterios no son aplicables al Policarbonato [37].

Al no ser aplicables para ambos materiales, y para emplear el mismo modelo en ambos, el modelo de plastificación empleado será el modelo de Johnson-Cook (criterio utilizado en Abaqus, para la modelización de ambos materiales), un modelo que depende de la velocidad de deformación, las temperaturas, y las deformaciones experimentadas por el material [37].

La ecuación constitutiva de este modelo, es una expresión empírica, que relaciona la tensión efectiva con la deformación efectiva. Dicha ecuación es la siguiente [37]:

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) f(T) \quad (2.14)$$

Donde σ , hace referencia a la tensión eficaz de Von Mises; A es un parámetro que determina el límite elástico a temperatura ambiente; B es el módulo de endurecimiento por deformación plástica del material; C y n , son unos coeficientes relativos a la sensibilidad de la deformación plástica, que dependen del material; ε se refiere a la deformación efectiva; y, $\dot{\varepsilon}$ y $\dot{\varepsilon}_0$, hacen referencia a la velocidad de deformación y la velocidad de deformación de referencia. Por último, $f(T)$, es una función dependiente de la temperatura que en este caso se define de la siguiente manera [37]:

$$f(T) = 1 - T^{*m} \quad (2.15)$$

Donde m , es un coeficiente relativo al ablandamiento por temperatura, y a su vez T^* , es un coeficiente adimensional, que se describe del siguiente modo [37]:

$$T^* = \frac{T - T_{amb}}{T_{fusión} - T_{amb}} \quad (2.16)$$

Donde T , es la temperatura del material, T_{amb} , es la temperatura ambiente en el momento del ensayo, y $T_{fusión}$, es la temperatura de fusión del material, en este caso del policarbonato [37].

La mayoría de los parámetros de esta ecuación dependen del tipo de material, y de los esfuerzos aplicados en el mismo. Los valores concretos de dichos parámetros, empleados para la modelización de los materiales de estudio en este proyecto, se detallarán en el próximo capítulo, en el que se describirán los materiales empleados en los ensayos y simulaciones (aluminio y policarbonato) [37].

2.3.1 Comportamiento a rotura.

Gracias a la utilización del modelo Johnson-Cook, este reflejará la deformación del material hasta la fractura, como se ha descrito en el apartado anterior, hasta alcanzar el estado tensodeformacional en cuyas condiciones se produce el fallo del material. Para que Abaqus muestre el modo de fallo del material, se empleará el criterio de daño de Johnson-Cook, el cual define dichas condiciones de fallo, a través de la siguiente ecuación [38]:

$$\varepsilon_f = D_1 + D_2 e^{\left(D_3 \frac{\sigma_h}{\sigma}\right)} \left(1 + D_4 \ln \frac{\varepsilon'}{\varepsilon'_0}\right) (1 - D_5 T_h) \quad (2.17)$$

Donde el parámetro D , es un valor implementado en Abaqus, y simplificado por el programa a un único parámetro determinado de forma experimental, tras determinar el valor con el que se reproducía de forma más precisa los ensayos empíricos.

Una vez definido el criterio de fallo, solo quedaría analizar el tipo de fractura del material, que tendrá una forma concreta, dependiendo del material y la forma del proyectil empleados. Así más adelante en este mismo proyecto, se comprobará si el fallo mostrado por Abaqus, se corresponde con alguno de los siguientes [39]:

- Petalling: es un tipo de rotura muy característico de ensayos de impacto, con proyectiles cónicos sobre un material de espesores relativamente pequeños, como el estudiado en el presente proyecto. Dicha fractura, se origina en materiales dúctiles, donde la deformación es radial y se produce una disminución progresiva de las tensiones tangencial, lo que genera la forma de pétalo que da nombre ha dicho modo de fractura.
- Plugging: a diferencia del anterior, este tipo de rotura es más característico de ensayos de impacto con proyectiles de punta plana, donde al existir una mayor superficie de contacto, la presión ejercida es menor, y se podría decir, que el proyectil empuja el material, provocando una rotura, con forma a de tapón con igual radio que el proyectil.
- Fragmentación: este tipo de rotura se da para velocidades de impacto muy elevadas, provocando un contacto de altísima presión, y con ello el

desprendimiento de múltiples y pequeños fragmentos procedentes del objetivo.

2.4 Método de Elementos Finitos.

El método de los elementos finitos permite obtener el campo de desplazamientos, tensiones y deformaciones de un dominio V , previa división de dicho dominio en varios subdominios, utilizando funciones de aproximación local independientes en cada uno de ellos, e imponiendo condiciones de continuidad entre las funciones de aproximación de subdominios adyacentes [40].

A la subdivisión del dominio, se la conoce como discretización o mallado del mismo, la cual debe cumplir dos condiciones: que siendo V_e , una subdivisión genérica del dominio V , se debe cumplir que $V \approx \bigcup_{e=1}^E V_e$; y, por otro lado, que las distintas subdivisiones no se solapen entre sí [40].

En las intersecciones de los elementos finitos, se pueden identificar puntos nodales, cada uno de los cuales tiene asociado su propio vector de posición r_i , en el sistema global de coordenadas. Cada uno de estos puntos puede estar conectado a varios elementos finitos, y dentro de cada uno de ellos, tiene una numeración local independiente [40].

Una vez identificados los nodos, dentro de cada elemento finito, se aplica la ecuación matricial de la siguiente forma [40]:

$$[K]\{q\} = \{Q\} \quad (2.18)$$

Donde $[K]$, es la matriz de rigidez del material, y depende de las propiedades de dicho material, y $\{Q\}$, es el vector global de fuerzas externas. De tal manera, que el vector $\{q\}$, será el vector de incógnitas, referente a los desplazamientos nodales [40].

Este método es el empleado por el código comercial Abaqus para la obtención de los desplazamientos, deformaciones y tensiones al someterse al material a determinadas cargas externas.

2.5 Estructura sandwich.

Una estructura sandwich, es una estructura constituida por lo general por dos capas exteriores de material resistente, entre las que se interpone un material ligero, y generalmente de baja densidad. Este tipo de configuración es muy útil, ya que, a pesar de aumentar el espesor con la adición del material intermedio, apenas aumenta el peso (al ser un material ligero) y reporta grandes beneficios en términos de rigidez al conjunto [41].

Por lo general, este tipo de estructuras, además de las capas exteriores o pieles y la intermedia o núcleo, cuenta con una interfase, que sirve de unión entre las distintas capas, y generalmente se trata de un material adhesivo [41].

Las capas exteriores, son un de un material resistente, mientras que las funciones principales del núcleo son, mantener separadas las pieles, brindar aislamiento y transmitir los esfuerzos cortantes de una placa exterior a la otra [41].

Gracias a esta configuración, si por ejemplo el material es sometido a flexión, una capa exterior está sometida a tracción y la otra estará sometida a compresión, de tal manera que el material, gracias a este equilibrio entre esfuerzos de compresión y tracción entre las capas exteriores, será capaz de soportar mejor el esfuerzo flector, que una estructura simple, añadiendo un mínimo aumento de peso, debido al núcleo [41].

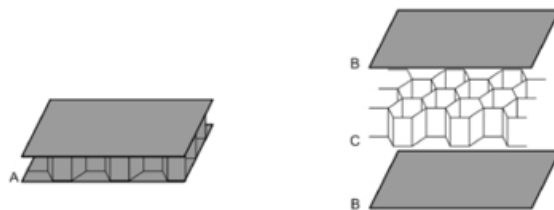


Fig. 2.27 Estructura sándwich [41]

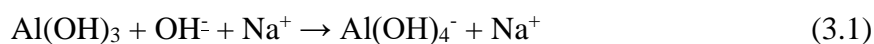
Analizando el caso de este proyecto, el material resistente sería el Aluminio 6082-T6, y el núcleo estaría formado por el Policarbonato, aunque se probarán las distintas configuraciones para confirmar un mejor comportamiento de la configuración descrita anteriormente.

3 MATERIALES Y DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

3.1 Aluminio 6082-T6.

Antes de describir las propiedades y características de este tipo de aluminio, sería interesante, conocer mejor el aluminio puro.

El aluminio, se obtiene de un mineral llamado Bauxita, del cual, a través del método Bayer, se consigue la alúmina, de la cual, a su vez, a través de electrólisis se obtendrá el aluminio final. En dicho método, se tritura la bauxita y se lava en una disolución de sosa (NaOH). Las reacciones químicas que ocurren son, dependiendo de la composición inicial de la Bauxita [42]:



En el primer caso, con el hidróxido de aluminio, la reacción debe llevarse a cabo a unos 140°, mientras que, para la segunda reacción, que incluye oxígeno, la temperatura debe elevarse a unos 240° [42].

A continuación, se retiran los sólidos no disueltos (que serán tratados para recuperar la sosa), mediante un decantador. La disolución libre de impurezas se precipita para conseguir hidróxido de aluminio puro [42]:



El hidróxido de aluminio se somete a un proceso de calcinación, a unos 1050°, para convertirlo en alúmina, liberándose vapor de agua al mismo tiempo [42]:



Finalmente, la alúmina se introduce en una cuba electrolítica, donde un par de electrodos liberan una corriente eléctrica, con la cual los iones negativos o aniones, son atraídos al electrodo positivo, y los iones positivos o cationes, son atraídos al electrodo

negativo, lo que provoca, la disociación del aluminio puro, un material con grandes propiedades conductoras de calor y electricidad, y al mismo tiempo un material dúctil con grandes propiedades mecánicas, que queda depositado en el fondo de la cuba.

De cara a aplicaciones ingenieriles, las propiedades del aluminio, que ya de por si son bastante buenas, se pueden mejorar considerablemente, si el aluminio es aleado con otros elementos y se le realiza un conformado o tratamiento térmico.

Así nacen las distintas aleaciones de aluminio, donde dependiendo del elemento aleante añadido, se mejoran unas propiedades u otras del aluminio [43].

ELEMENTO	PROPIEDAD
Cromo (Cr)	En aleación con aluminio y otros elementos incrementa la resistencia mecánica.
Cobre (Cu)	Incrementa las propiedades mecánicas pero reduce la resistencia a la corrosión.
Hierro (Fe)	En cantidades controladas aumenta las propiedades mecánicas.
Magnesio (Mg)	Aumenta la resistencia tras el conformado en frío.
Manganeso (Mn)	Incrementa las propiedades mecánicas.
Silicio (Si)	Combinándolo con magnesio incrementa las propiedades mecánicas.
Titanio (Ti)	Incrementa propiedades mecánicas.
Zinc (Zn)	Reduce la resistencia a la corrosión.

Fig. 3.1 Elemento aleantes y sus efectos sobre la aleación [43]

Estas aleaciones de aluminio, se pueden clasificar dependiendo de dos usos distintos: forja o fundición. La norma UNE clasifica las aleaciones de aluminio como moldeo o forja (L-200), de fundición (L-300) y de alta fusión (L-400), mientras que la Asociación del Aluminio las clasifica según el elemento aleante, siendo para fundición de la siguiente forma xxx.x y para forja del tipo xxxx, donde cada cifra se refiere a un tipo de elemento y las dos últimas cifras hacen referencia a la cantidad del aleante principal [43].

SERIE	CLASE DE ALEACION
1XXX	Aluminio al 99% de pureza mínimo.
2XXX	Aluminio aleado con cobre principalmente.
3XXX	Aluminio aleado con manganeso principalmente.
4XXX	Aluminio aleado con silicio principalmente.
5XXX	Aluminio aleado con magnesio principalmente.
6XXX	Aluminio aleado con silicio o con silicio – magnesio.
7XXX	Aluminio aleado con zinc o con zinc – magnesio.
8XXX	Otro tipo de aleaciones, por ejemplo aluminio - litio.

Fig. 3.2 Aleaciones de aluminio para forja [43]

SERIE	CLASE DE ALEACION
1XX.X	Aluminio al 99% de pureza mínimo.
2XX.X	Aluminio aleado con cobre.
3XX.X	Aluminio aleado con silicio y cobre o silicio y magnesio.
4XX.X	Aluminio aleado con silicio.
5XX.X	Aluminio aleado con magnesio.
6XX.X	Serie sin usar.
7XX.X	Aluminio aleado con zinc.
8XX.X	Aluminio aleado con estaño.
9XX.X	Aleaciones sin especificar (el fabricante debe hacerlo).

Fig. 3.3 Aleaciones de aluminio para fundición [43]

Las aleaciones para forja de las series 2000, 6000 y 7000 pueden ser tratadas térmicamente para mejorar sus propiedades, como es el caso de la aleación de aluminio empleada en este proyecto. Dependiendo del tipo de tratamiento, se le designa una letra al final del número de la serie a la que pertenece dicha aleación [43].

TIPOS DE TRATAMIENTO TERMICO	
NOMENCLATURA	TRATAMIENTO
F	La aleación se encuentra tal y como se obtuvo.
O	La aleación se ha recocido y recristalizado para máxima ductilidad.
H	La aleación se ha endurecido por deformación.
T	La aleación se ha tratado térmicamente para producir endurecimientos estables.

Fig. 3.2 Tipos de tratamiento térmicos [43]

Y a su vez, cada tratamiento térmico tiene subgrupos, a los que designa un número al lado de la letra anteriormente mencionada.

TIPOS DE TRATAMIENTO DE ENDURECIMIENTO ESTABLE	
NOMENCLATURA	TRATAMIENTO
T1	Envejecimiento natural.
T3	Tratamiento térmico en solución, trabajado en frío y envejecido natural.
T4	Tratamiento térmico en solución y envejecido natural.
T5	Envejecido desde el proceso de modelado en caliente y envejecido.
T6	Tratamiento térmico en solución y envejecido artificial.
T7	Tratamiento térmico en solución y estabilizado.
T8	Tratamiento térmico en solución, trabajo en frío y envejecimiento artificial.

Fig. 3.3 Subdivisiones dentro del tipo de tratamiento térmico [43]

Para la simplificación de este capítulo, solo se ha mostrado la tabla de subdivisiones a la que pertenece la aleación de aluminio analizada a lo largo de este proyecto.

A continuación, se muestra una tabla con las principales aplicaciones prácticas de cada serie de aleaciones de aluminio.

USO DE ALEACIONES DE ALUMINIO		
ELEMENTO	ALEACIONES	USO
Puro	1199, 1188, 1100	Conexiones eléctricas, tanques para químicos, metalización.
Cobre (Cu)	2014, 2219, 2024	Tanques, transbordadores espaciales, aviones.
Manganeso (Mn)	3004, 3003	Calderería, muebles, equipo médico.
Magnesio (Mg)	5056, 5356, 5183	Estructural, hidráulica, carrocerías, tanques contenedores.
Zinc (Zn)	7039, 7046, 7005	Partes automotrices, artículos deportivos, parachoques.
Silicio (Si)	4047, 4043, 4653	Electrodos, brazing, fundición.
Magnesio (Mg) Silicio (Si)	6013, 6061, 6063	Extrusiones, chasis, intercambiadores de calor, calderas

Fig. 3.4 Aplicaciones de las aleaciones de aluminio [43]

Recopilando toda la información anterior, se puede decir que, el Aluminio 6082-T6 empleado en el presenta proyecto, es un tipo de aluminio que pertenece a la serie 6000 o serie 6xxx. Los aluminios de esta serie están formados por una aleación de aluminio, silicio y magnesio, y se emplean para forja. Además, la designación T6, indica que el material ha sido sometido a un tratamiento térmico para producir endurecimientos estables en solución y con un envejecido artificial. Y, por último, decir que dicho material se emplea generalmente, para extrusiones, chasis, intercambiadores de calor, calderas, etc.

Concretando aún más, la composición exacta del Aluminio 6082-T6, se muestra en la siguiente tabla, la cual muestra el porcentaje del peso total abarcado por cada elemento aleante, siendo el porcentaje restante de aluminio puro.

Table 2 Chemical composition of the AA 6082-T6 (% of weight).

Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Zn	Fe	Ti	Mg
0.45	0.99	0.03	0.01	0.08	0.04	0.41	0.03	0.73

Fig. 3.5 Composición química del Aluminio 6082-T6 [43]

En la siguiente tabla, se muestran los valores de las propiedades mecánicas y térmicas introducidas en Abaqus, para la modelización del aluminio.

TABLA 3.1 PROPIEDADES DEL ALUMINIO 6082-T6 INTRODUCIDAS EN ABAQUS [44]

	Aluminio 6286-T6
Densidad	$2.7 \cdot 10^{-9} (\text{t/mm}^3)$
Módulo de Young	$7 \cdot 10^4$ MPa
Coefficiente de Poisson	0.3
Fracción de calor inelástico	0.9
Calor Específico	$9 \cdot 10^8$
Ley de endurecimiento	Johnson - Cook
Parámetros necesarios en el modelo de Johnson-Cook	$A = 201550000$ $B = 250870000$ $C = 0.0097728$ $n = 0.2061$ $m = 1.31$ Temp fusión = 855 K Temp transición = 293 K $\varepsilon'_0 = 0.001$

3.2 Policarbonato.

El policarbonato (PC), es un grupo termoplástico, que se obtiene mediante la reacción de bisfenol A (BPA) y fosgeno, un componente químico industrial muy empleado para la fabricación de plásticos y pesticidas. La reacción global se puede escribir como sigue:

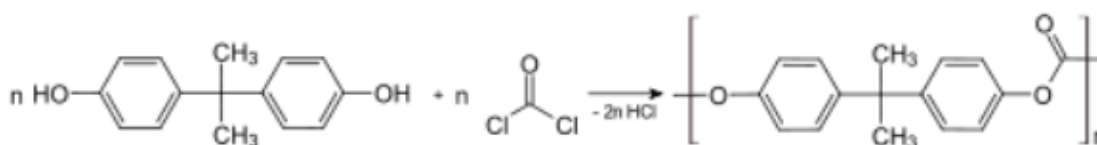


Fig. 3.6 Reacción sintética del PC [45]

De esta forma, el material resultante, es un material con una gran resistencia al impacto (lo que lo hace un material idóneo para los ensayos planteados en este proyecto), pero también con una gran transparencia, elevada resistencia a la deformación térmica, gran estabilidad dimensional, buenas propiedades de aislante eléctrico, elevada resistencia a la intemperie y una gran resistencia y rigidez [45].

Todas estas propiedades, lo convierten en un material ampliamente empleado en industrias como la automoción, con piezas de vehículos y ventanas irrompibles, transporte, para cajas transmisoras de señales, reflectores de faros y cajas de fusibles, en arquitectura, para cubiertas de invernaderos, etc. [45]

El policarbonato, es producido en dos formatos: en forma de plancha o en forma de films o películas. Dentro del primer grupo se pueden encontrar dos formatos: compacto, para darle una gran transparencia, empleado fundamentalmente en la construcción y las ventanas de los vehículos; y en formato celular, empleado en superficies que no requieren de una transparencia importante, el cual es mucho más económico que el policarbonato compacto. Por otro lado, los films de PC, se emplean para recubrir normalmente otros productos fabricados en plástico, para mejorar sus propiedades de resistencia a la intemperie y sus propiedades mecánicas [45].

En la siguiente tabla, se muestran los valores de las propiedades mecánicas y térmicas introducidas en Abaqus, para la modelización del policarbonato.

TABLA 3.2 PROPIEDADES DEL PC INTRODUCIDAS EN ABAQUS [46]

	Policarbonato (PC)
Densidad	$1.2 \cdot 10^{-9} (\text{t/mm}^3)$
Módulo de Young	2200 MPa
Coefficiente de Poisson	0.37
Fracción de calor inelástico	1
Calor Específico	$13 \cdot 10^8$
Ley de endurecimiento	Johnson - Cook
Parámetros necesarios en el modelo de Johnson-Cook	A = 80000000 B = 75000000 C = 0.052001 n = 2 m = 0.548 Temp fusión = 562 K Temp transición = 293 K $\varepsilon'_0 = 0.001$

3.3 Materiales más empleados hoy en día en blindajes y protecciones personales.

Tras la entrevista mencionada en el primer capítulo, con el jefe de armamento de la policía nacional, don Javier de la Concepción, se sabe que los materiales más empleados hoy en día en el ámbito de las protecciones personales son el Kevlar y el polietileno, mientras que en blindajes de vehículos lo más empleados son aceros balísticos para las carrocerías y policarbonato para las ventanas blindadas.

3.3.1 Kevlar.

La síntesis de este material se lleva a cabo en solución N-metil-pirrolidona y cloruro de calcio, a través de una polimerización por pasos a partir de la p-fenilendiamina y el dicloruro del ácido tereftálico o cloruro de tereftaloílo. La reacción se lleva a cabo a temperaturas bajas debido a su gran exotermicidad. Posteriormente el polímero se hace precipitar y se disuelve en ácido sulfúrico concentrado en el cual kevlar (y otras poliarilamidas) forma una solución cristalina que se emplea para precipitar o coagular las fibras a la vez que se estiran mediante un sistema de hilado [47].

Este material, es el más empleado hoy en día por sus propiedades mecánica y su baja densidad. Sus principales propiedades mecánicas son [47]:

- Rigidez: Este material se caracteriza por tener un módulo de elasticidad de hasta 120 GPa (dependiendo del tipo de Kevlar), cuando un acero típico tiene un valor de 200 GPa
- Resistencia: El Kevlar cuanta con una resistencia a tracción de 3.5Gpa, por los 1.5 GPa de un acero típico.
- Elongación a rotura: El Kevlar puede soportar una elongación del 3.6%, por una elongación máxima del 1% de un acero típico.
- Otras propiedades: alta resistencia al corte, gran estabilidad dimensional y una conductividad baja.

Todas estas propiedades, lo convierten en un material ideal para la fabricación de chalecos antibalas, sobre todo en términos de confort por su flexibilidad y ligereza. La única desventaja de este material es que en condiciones de humedad pierde sus grandes

propiedades mecánicas, por ello se añade una capa de protección, como se indica en la *Fig. 1.35*.

El polietileno, también es un material con grandes características para su empleo en este tipo de aplicaciones, pero la policía nacional española, no emplea este tipo de materiales por dos motivos: por un lado, a temperatura de más 45 o 50 grados, pierde buena parte de sus propiedades, unas temperaturas que, en el clima mediterráneo, se pueden alcanzar perfectamente, en el periodo estival; y por otro lado, cuando se moja pierde todas su propiedades de forma irreversible.

3.3.2 Aceros balísticos.

En el mundo del blindaje de vehículos, el material más empleado hoy en día es el acero balístico, que es conocido comúnmente como acero martensítico envejecido.

El acero martensítico se obtiene aleando hierro, con concentraciones de cromo de entre el 11,5% y el 18%, además de carbono, en cantidades controladas, que permite al acero endurecerse y mejorar sus propiedades mecánicas, con los tratamientos térmicos. La cantidad de carbono debe ser cuidadosamente controlada, ya que, a pesar del beneficio en cuanto a las propiedades mecánicas, a mayor concentración de carbono, mayor número de carburos de cromo, y por lo tanto menor cantidad de cromo para resistir la corrosión u oxidación [48].

Este material, recibe su nombre, porque posee una microestructura martensítica, y es sometido a un tratamiento de envejecimiento, en el que se produce un endurecimiento por precipitación. Las distintas fases de este proceso son, primero un recocido por difusión en el que se calientan todos los elementos hasta una temperatura concreta, ya que una menor temperatura podría provocar la aparición de partículas que empeorarían las propiedades mecánicas, y una demasiado alta, podría hacer que se fundiesen elementos individuales de la aleación. Después un temple, en el que se produce un enfriamiento y donde se puede controlar la aparición de las partículas previamente mencionadas. Y, por último, el envejecimiento a entre 450° y 500°, durante un tiempo concreto, ya que un mayor periodo de envejecimiento puede restaurar la microestructura, arruinando el tratamiento térmico [48].



Fig. 3.7 Estructura martensítica [49]

3.4 Descripción del ensayo en el laboratorio.

El mecanismo empleado para la realización del ensayo en el laboratorio es bastante similar al descrito en el apartado 1.3.5 *Normativa y ensayos aplicados a los chalecos antibalas*, como se puede apreciar en la Fig. 3.10.



Fig. 3.8 Ensayo en el laboratorio [5]

En resumen, se intercalan varios detectores de velocidad entre el disparador y el material de estudio, este último, se encuentra fijado como se muestra en la Fig. 1.32. Esta fijación impide el movimiento de la placa en cualquier dirección (bordes empotrados), dejando únicamente un posible desplazamiento por deformación en la trayectoria del proyectil (perpendicular a la superficie de las placas). Al mismo tiempo, la fijación se encuentra conectada a un equipo que se encarga de medir la energía absorbida por el material de estudio.

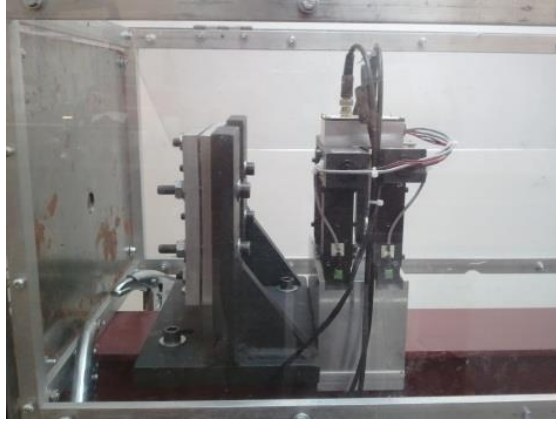


Fig. 3.9 Sujeción del material híbrido [5]

4 MODELIZACIÓN DEL ENSAYO EN ABAQUS.

En este apartado se procederá a describir el proceso de modelización del ensayo en Abaqus.

El primer paso, es definir la geometría tanto de las placas del material híbrido, como la geometría de los proyectiles, a emplear en el ensayo.

Para ello, en el módulo *Part*, se selecciona la función *Create Part*, donde se debe elegir las características de la parte que se va a crear, que en este caso serán piezas sólidas, deformables y en tres dimensiones.

También se debe elegir la forma de creación de la parte, ya sea por extrusión, por revolución o por barrido. Por un lado, en el caso de las placas, se utilizará la extrusión como medio de creación de estas, dando en un plano en dos dimensiones las medidas correspondientes y después, indicando el espesor a dar a la geometría en la extrusión. Por otro lado, en cuanto al proyectil, se utilizará una revolución como medio de creación de la parte, debiendo indicar como eje de revolución, la recta que pasa por el vértice del proyectil, y es perpendicular a la cara inferior del mismo. Una vez definido este eje, en un plano en dos dimensiones, se debe definir la mitad de la geometría de la vista en alzado del proyectil, tomando el eje de revolución también como eje de simetría, y creando una geometría cerrada, con el perímetro del proyectil y el eje de revolución. A continuación, se indican los grados de la revolución, que en este caso serán 360° para crear una superficie cerrada.

Para definir estas partes se utilizaron la geometría de las placas y del proyectil de punta cónica (*Fig. 4.2* y *Fig. 4.3* respectivamente), utilizados en el ensayo empírico del laboratorio, con el objetivo de reproducir tanto el ensayo como los resultados, para comprobar la validez de la simulación por ordenador, y así tratar de comprobar el comportamiento de dicho material híbrido ante distintos proyectiles y esfuerzos.

Antes de describir la creación de las partes, es necesario apuntar, que para trabajar en mm en ABAQUS, se debe ajustar todas las unidades empleadas, siguiendo las correspondencias de la siguiente figura.

Quantity	SI	SI (mm)	US Unit (ft)	US Unit (inch)
Length	m	mm	ft	in
Force	N	N	lbf	lbf
Mass	kg	tonne (10^3 kg)	slug	$\text{lbf s}^2 / \text{in}$
Time	s	s	s	s
Stress	$\text{Pa (N/m}^2\text{)}$	$\text{MPa (N/mm}^2\text{)}$	lbf/ft^2	$\text{psi (lbf/in}^2\text{)}$
Energy	J	$\text{mJ (}10^{-3}\text{ J)}$	ft lbf	in lbf
Density	kg/m^3	tonne/mm^3	slug/ft^3	$\text{lbf s}^2 / \text{in}^4$

Fig. 4.1 Unidades consistentes en ABAQUS [50]

Para las placas tanto de aluminio como de policarbonato, se utilizaron placas de 100x100x1mm. En todas las configuraciones del material híbrido estudiadas, 6 en total, se utilizaron 4 placas, 2 de aluminio y 2 de policarbonato, variando el orden de las placas para comprobar la influencia de dicho orden en los resultados. Mientras que, en el caso del proyectil cónico, como se comentó en el capítulo 1, se emplearán las medidas indicadas en la *Fig. 1.1*.

El resultado final se muestra en las figuras previamente mencionadas, en las que también aparecen otros elementos de referencia, de los que se hablará en detalle más adelante, ya que son necesarios para el proceso de mallado de las piezas.

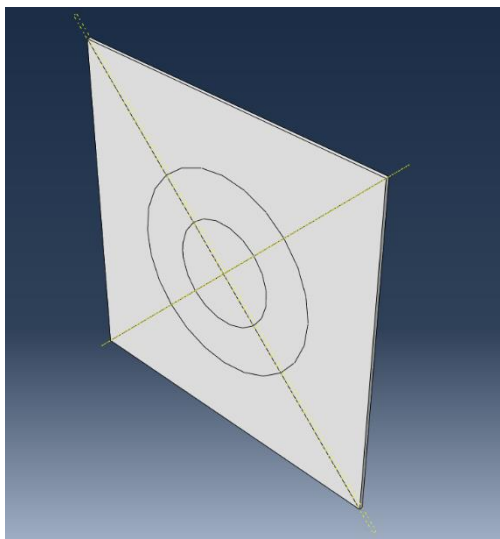


Fig. 4.2 Placa Al y PC

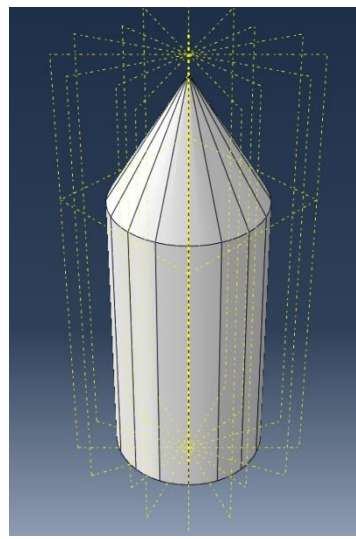


Fig. 4.3 Proyectil Cónico

Una vez definidas las geometrías tanto de las placas como del proyectil, se deben definir los materiales de los que estarán compuestos los elementos del ensayo.

Para ello, se selecciona el módulo Property, y la función Create Material. Una vez se ha pinchado en dicha función, se abrirá un cuadro que solicita el nombre del material que se va a crear, y en el que se pueden definir una gran cantidad de características físicas y químicas del material. Para el problema analizado, se definen 3 materiales, el aluminio y el policarbonato utilizados en el ensayo del laboratorio para las placas del material híbrido, así como el acero que formará el proyectil. En el caso del policarbonato y el aluminio, se definen varias características generales, elásticas, plásticas y térmicas, necesarias para definir el modelo de Johnson Cook y analizar en detalle el comportamiento de estas, mientras que, para el acero del proyectil, con definir su densidad y propiedades elásticas será suficiente. De esta forma las propiedades de los materiales que conforman el material híbrido, se muestran en las tablas 3.1 y 3.2 del capítulo anterior, y las propiedades del acero del proyectil se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 4.1 PROPIEDADES DEL ACERO INTRODUCIDAS EN ABAQUS [51]

	Acero
Densidad	$7.85 \cdot 10^{-9} (\text{t/mm}^3)$
Módulo de Young	$8.5 \cdot 10^4 \text{ MPa}$
Coefficiente de Poisson	0.3

Es necesario mencionar, que para la simulación del método de fractura, se debió introducir en el archivo .inp generado, a través de la herramienta *Keywords*, los valores del parámetro D para el modelo de rotura de Johnson-Cook, como se ha mencionado en el apartado 2.3.1 *Comportamiento a rotura*.

Una vez definidas, las características de los materiales a emplear, se utiliza la función *Create Section*, para crear secciones con los distintos materiales, y así poder asignar cada sección a sus respectivos elementos.

El siguiente paso, es mallar los distintos elementos, lo cual, sirve para definir las divisiones que empleará el programa Abaqus, para aplicar el método de los elementos finitos, descrito en el apartado 2.4 *Métodos de Elemento Finitos*. Para ello, se emplea el Módulo *Mesh*, y en el momento de creación de las partes, se definen como partes dependientes, para poder mallar individualmente cada parte.

En el caso del proyectil, se emplea la herramienta *Define Datum Plane*, para definir las líneas de partición del proyectil, y hacer una malla mucho más fina, recta y regular. El resultado final, se muestra en la Ilustración 40, previamente mostrada. Una vez definidas dichas líneas, se emplea la herramienta *Partition Cell*, dentro de la cual se selecciona la opción *Use Datum Plane*, para subdividir cada elemento en distintas partes, con el objetivo de conseguir un mallado más preciso. Haciendo uso de la herramienta *Seed Edges* se definirá el número de elementos que se desea en cada parte de la pieza. Para mallar correctamente el proyectil, se malla, por un lado, la parte cilíndrica del mismo, con una malla recta, y, por otro lado, la punta cónica, a la que se le aplica una condición especial, conocida en Abaqus, como *bias*, que permite aplicar a la malla un ratio que disminuye progresivamente el tamaño de los elementos en la dirección deseada, que en este caso será hacia la punta del proyectil, al ser la parte que mayores tensiones soportará en el impacto.

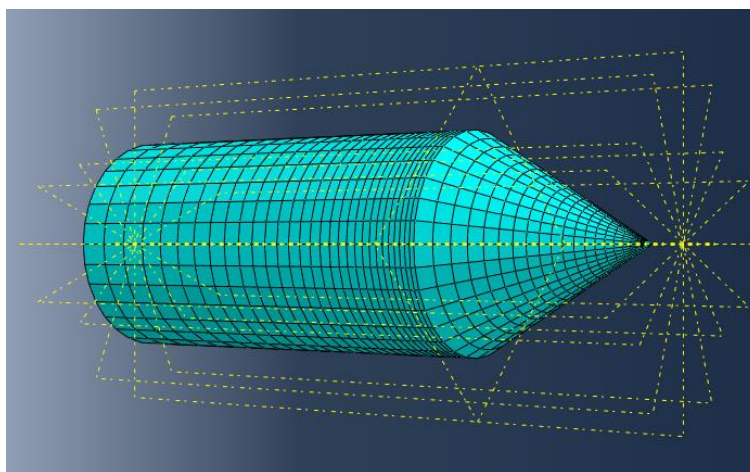


Fig. 4.4 Proyectil cónico mallado en Abaqus

Este procedimiento, será empleada, exactamente de la misma manera, para mallar los diferentes proyectiles, utilizados en los ensayos posteriores a la validación del modelo.

Para el mallado de las placas, se aplicará exactamente el mismo mallado, tanto para la placa de policarbonato, como para la de aluminio, con el fin de conseguir una malla

simétrica y asegurar la continuidad de esta en el momento del ensamblaje. Para este procedimiento, de nuevo, se subdividen las placas, primero en cuatro partes mediante dos *Datum Planes* que pasen por las dos diagonales del cuadrado, definido en 2 dimensiones para la creación de la parte, y después, con dos circunferencias concéntricas, cuyo centro coincida con el punto de corte de ambas diagonales. Desde la circunferencia exterior, hacia los bordes de la placa, se utilizará un mallado recto, mientras que, para el mallado dentro de las circunferencias, se aplicará el bias previamente descrito, para aumentar el número de elemento justo en el centro de la placa, puesto que este será el punto de impacto del proyectil, y de nuevo la zona que mayores tensiones soportará.

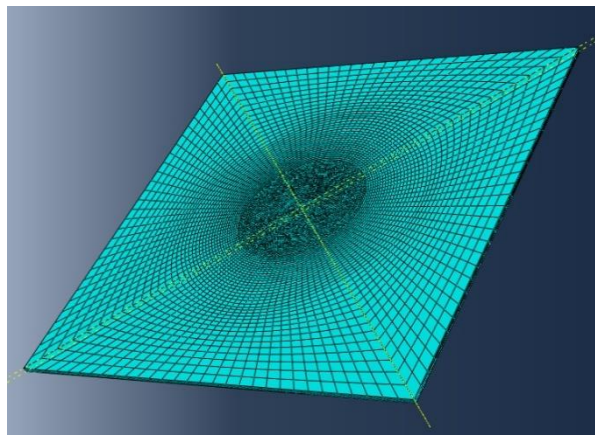


Fig. 4.5 Placa Al 6286-T6 y PC mallada

Una vez definidas las formas de las mallas, se emplea la herramienta *Mesh Controls*, para definir el tipo de mallado deseado que, en este caso, será un mallado explícito por barrido (*Sweep*), con elementos de tipo hexagonal (C3D8R). Para ello, se selecciona la opción de Hex-dominated, por la cual todos los elementos tendrán forma cúbica, excepto en puntos conflictivos, como por ejemplo la punta del proyectil, donde el propio programa definirá la forma más adecuada, para mantener la continuidad y regularidad de la malla.

A continuación, se realiza el ensamblaje de las partes para colocarlas en la posición en que se encontraban en el ensayo experimental. Para ello, en módulo *Assembly*, se emplea la herramienta *Create Instance*, para seleccionar los elementos que se desean ensamblar. Por lo que se selecciona una *instance*, que será el proyectil, y después se crean dos *instances* para cada placa (no es necesario, crear ni mallar 4 placas, 2 de cada tipo, pudiendo crear y mallar una de cada tipo, y después reproducirla en este módulo, ahorrando así tiempo en la elaboración del proyecto y coste computacional del programa).

Una vez creadas las *instances*, se deben colocar en posición a través de las herramientas de *Traslation* y *Rotation*, disponibles en este módulo, colocando las 4 placas una detrás la otra y en contacto entre sí, y el eje del proyectil, alineado perpendicularmente, con el punto central de las placas.

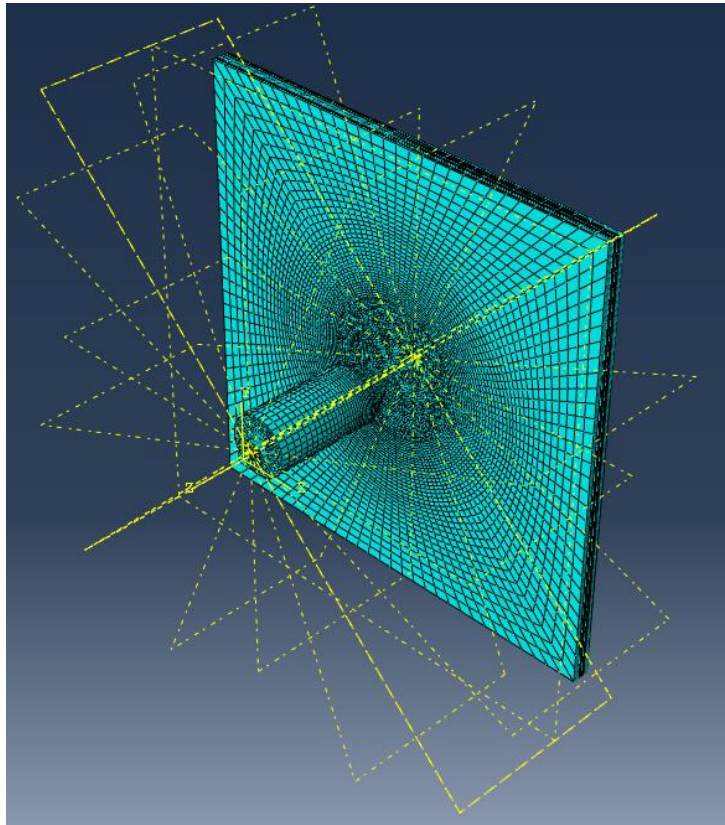


Fig. 4.6 Assembly completo para la simulación del ensayo

Ahora que ya están dispuestos los elementos en su posición, se deben definir las interacciones entre los distintos elementos, para ello se utiliza el módulo *Interaction*, en el cual se definirán dos interacciones diferentes.

Previo a la creación de los distintos tipos de contacto, se deben definir las propiedades de dichos contactos, mediante el uso de la herramienta *Define Interaction Properties*, en las que se definirá en cuanto al comportamiento normal, un *Hard Contact*, y en comportamiento tangencial, un coeficiente de rozamiento de 0.1. Una vez definidas dichas propiedades, se procede a crear las diferentes interacciones.

Por un lado, se define el contacto entre las distintas placas, para ellos se utiliza la herramienta *Create Interaction*, y se selecciona una interacción *General Contact*

(*explicit*), seleccionando las distintas caras en contacto de las placas, y dejando sin interacción alguna, a la cara frontal de la primera placa y la trasera de la cuarta placa.

Por otro lado, se define el contacto del proyectil con la parte interior de las circunferencias creadas en la parte central de las placas, ya que será donde se producirá dicho contacto. Para ello se selecciona una interacción del tipo *Surface to Surface Contact* (*explicit*), marcando como primera superficie la superficie completa del proyectil, y como segunda superficie, de tipo *Node Region*, a la parte interior de las circunferencias previamente mencionada.

Con todo el ensamblaje y las interacciones de los elementos definidas, se definirán las interacciones externas, aplicadas sobre dichos elementos. En el módulo *Load*, se utilizarán, por un lado, la herramienta *Define Boundary Conditions*, para encastrar los bordes de todas las placas, y herramienta *Create Boundary Conditions* para definir la velocidad inicial del proyectil, que se irá variando con las distintas velocidades utilizadas en el ensayo del laboratorio, para comparar los resultados obtenidos, en lo que a velocidades residuales se refiere.

El último paso antes de proceder a lanzar las simulaciones es definir el tiempo y tipo de simulación deseados, así como los resultados que se quieran mostrar. Para esto, en el módulo *Step*, se utiliza la herramienta, *Create Step*, para definir un tiempo de simulación de 0.001s (se emplea un tiempo tan pequeño, porque para reducir el coste computacional, y reducir el tiempo necesario en cada simulación, el proyectil se aproxima al máximo a las placas del material híbrido, sin llegar a contactar, por lo que el tiempo consumido hasta producirse el contacto es mínimo) y se establece una simulación de tipo explícito. En lo referente a los resultados, se emplea el *Field Output Manager*, para seleccionar, las tensiones a las que se encontrará sometidos los elementos, los desplazamientos y la energía, y se selecciona en el apartado *state*, la opción *Status*. Por otro lado, el resultado de mayor interés en este proyecto es la representación de la velocidad del proyectil a lo largo de la simulación, para ello en la barra de herramientas, se selecciona la opción *Tools*, dentro de la cual, en *Set, Manager*, se selecciona el nodo correspondiente a la punta del proyectil, y en el *History Output Manager*, se elige la velocidad de dicho nodo a lo largo de la simulación.

Una vez definido el modelo, para lanzar la simulación, en el módulo *Job*, se selecciona la herramienta *Create Job*, y se le da el nombre deseado al fichero, en este caso, se ha elegido para el nombre de capa fichero, el nombre de la configuración empleada, seguido de la velocidad inicial, y por último el tipo de proyectil empleado. Este apartado comprime todos los datos y variables definidos en el modelo seleccionado en ese momento y lanza la simulación con dichos datos.

Por consiguiente, en dicho documento de tipo .cae, se copió el mismo modelo 6 veces variando el orden de las placas, y creándose distintos *Jobs*, variando únicamente la velocidad inicial para conseguir los resultados que se mostrarán en el próximo capítulo.

Previo al lanzamiento de dichas simulaciones, se modelizó en Abaqus, un ensayo realizado por el mismo equipo de la Universidad Carlos III, pero en este caso únicamente para validar las propiedades del policarbonato. Para ello siguiendo los mismos pasos previamente descritos, se creó una placa de 100x100x6 mm, sobre la que se realizaron distintos ensayos, con el mismo proyectil, en los que de nuevo se variaba únicamente la velocidad inicial, con el fin de contrastar los resultados obtenidos con los del ensayo empírico, y corroborar de forma más exacta la validez de la simulación en Abaqus propuesta.

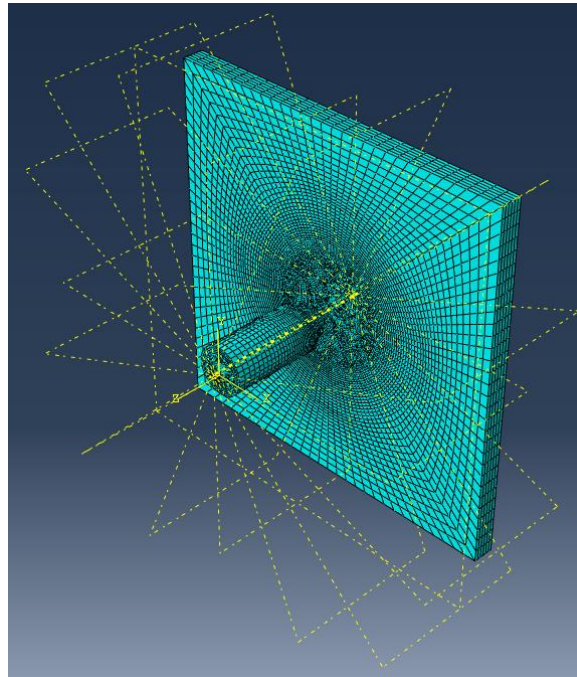


Fig. 4.7 Assembly completo para la validación del PC

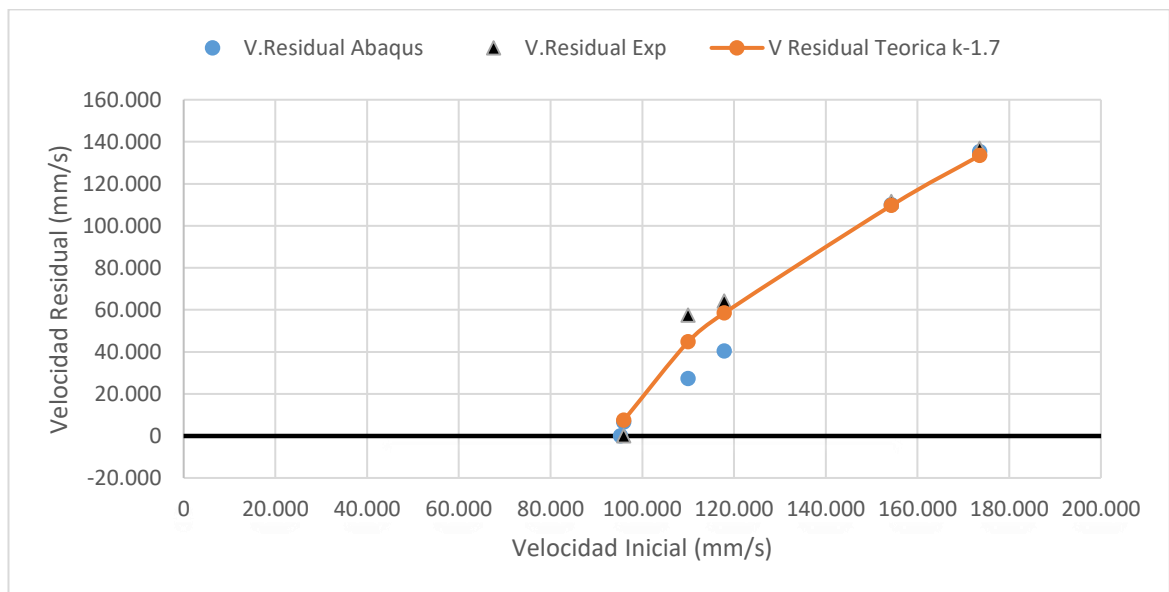
5 COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS E HIPÓTESIS.

5.1 Validación del modelo en Abaqus.

Una vez completada la modelización del ensayo experimental en Abaqus, se procedió a lanzar las simulaciones primero del policarbonato, para su validación, y posteriormente, del material híbrido, con el mismo objetivo.

Para la validación del policarbonato, se empleó una placa de dicho material, con las mismas dimensiones que las del material híbrido, pero en esta ocasión con un espesor de 6mm.

Tras lanzar diversas simulaciones, se obtuvieron los resultados que se muestran en la siguiente tabla, en los que también se comparan dichos resultados, con los obtenidos en el ensayo experimental.



Graf. 5.1 Validación PC

TABLA 5.1 RESULTADOS VALIDACIÓN PC

Configuración	Vo (m/s)	Vr exp (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
PC (6mm)	173,600	136,800	135,322	1.08
	154,320	111,600	109,964	1.47
	117,920	64,150	40,367	37.07
	110,000	57,470	27,369	52.38
Error promedio				23.00

Y en cuanto al error en la determinación del límite balístico:

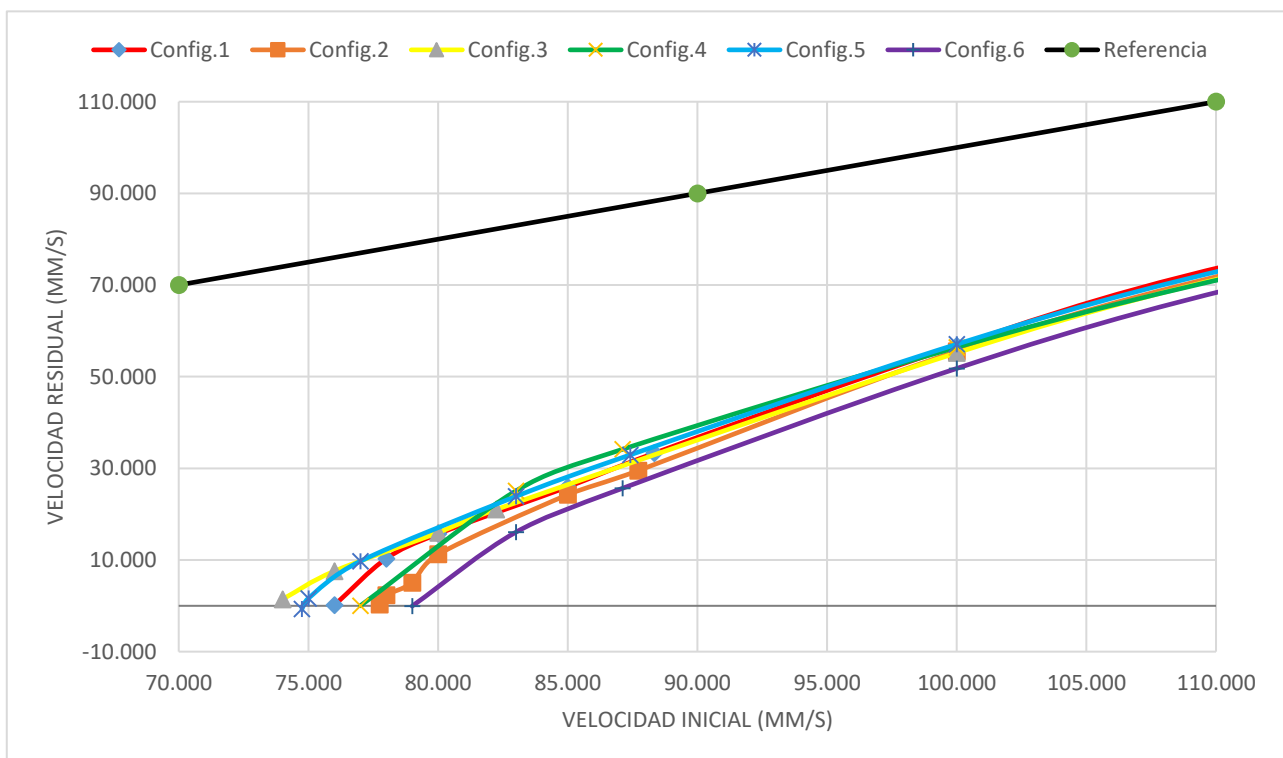
TABLA 5.2 PORCENTAGE DE ERROR VALIDACIÓN PC

Configuración	Lim.Balístico sim (m/s)	Lim.Balístico exp (m/s)	Error (%)
PC (6mm)	95.25	96	0.78

Con un error inferior al 1%, la modelización propuesta para simular el comportamiento del policarbonato, se podría asegurar que es válida y que todas las futuras simulaciones serían lo suficientemente fiables, respecto a la realidad.

Una vez comprobada la validez de la modelización propuesta para el policarbonato, se continuó con el lanzamiento de las simulaciones referentes al material híbrido. En este apartado, cabe destacar que, para cada una de las 6 configuraciones se lanzaron un total de 8 simulaciones con distintas velocidades, para tratar de construir una gráfica de comportamiento (Velocidad Residual respecto a Velocidad Inicial) lo más representativa posible.

Los resultados de velocidades residuales obtenidos en las simulaciones de Abaqus para cada una de las configuraciones, se muestran en la tabla y gráfica siguientes, donde la línea de referencia es el caso hipotético de $V_{\text{inicial}}=V_{\text{residual}}$, y el color de las celdas de la *Tabla 5.3*, coincide con el color de la configuración correspondiente en la *Graf 5.2*:



Graf. 5.2 comportamiento simulado de las distintas configuraciones (MH)

TABLA 5.3 RESULTADOS DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES MH

Configuración	Velocidad inicial (m/s)	Velocidad residual (m/s)
Al6082-PC-Al6082-PC	159,235	134,964
Al6082-PC-Al6082-PC	110,619	74,4661
Al6082-PC-Al6082-PC	100	56,7573
Al6082-PC-Al6082-PC	88,339	33,3067
Al6082-PC-Al6082-PC	85	25,9408
Al6082-PC-Al6082-PC	80	15,6995
Al6082-PC-Al6082-PC	78	10,2993
Al6082-PC-Al6082-PC	76	0,12087
Al6082-PC-PC-Al6082	159,235	134,874
Al6082-PC-PC-Al6083	110,619	72,631
Al6082-PC-PC-Al6084	100	55,5481
Al6082-PC-PC-Al6085	87,719	29,4957
Al6082-PC-PC-Al6086	85	24,2438
Al6082-PC-PC-Al6087	80	11,2251
Al6082-PC-PC-Al6088	79	5,03872
Al6082-PC-PC-Al6089	78	2,33393
Al6082-PC-PC-Al6090	77,75	0,279901
Al6082-Al6082-PC-PC	159,235	134,591
Al6082-Al6082-PC-PC	110,619	72,044
Al6082-Al6082-PC-PC	100	55,1973
Al6082-Al6082-PC-PC	82,236	21,0096
Al6082-Al6082-PC-PC	80	15,9569
Al6082-Al6082-PC-PC	76	7,56364
Al6082-Al6082-PC-PC	74	1,42351
PC-Al6082-PC-Al6082	159,235	135,621
PC-Al6082-PC-Al6083	110,619	72,9405
PC-Al6082-PC-Al6084	100	56,554
PC-Al6082-PC-Al6085	87,108	30,868
PC-Al6082-PC-Al6086	83	22,2782
PC-Al6082-PC-Al6087	77	2,43905
PC-Al6082-Al6082-PC	159,235	135,285
PC-Al6082-Al6082-PC	110,619	73,7115
PC-Al6082-Al6082-PC	100	57,0722
PC-Al6082-Al6082-PC	87,412	32,9423
PC-Al6082-Al6082-PC	83	23,8695
PC-Al6082-Al6082-PC	77	9,7276
PC-Al6082-Al6082-PC	75	1,63539
PC-Al6082-Al6082-PC	74,75	-0,718362
PC-PC-Al6082-Al6082	159,235	133,836
PC-PC-Al6082-Al6083	110,619	69,2188
PC-PC-Al6082-Al6084	100	51,7916
PC-PC-Al6082-Al6085	87,108	25,6289
PC-PC-Al6082-Al6086	83	16,0639
PC-PC-Al6082-Al6087	79	-0,0654875

Por otro lado, los resultados de velocidades residuales obtenidos en los ensayos experimentales, para cada una de las configuraciones se muestran en la siguiente tabla, de nuevo con el mismo código de color, para facilitar la lectura y comprensión del presente documento:

TABLA 5.4 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO PARA CADA CONFIGURACION

Configuración	Velocidad inicial (m/s)	Velocidad residual (m/s)
AA60821-PC1-AA60821-PC1	88,339	0
AA60821-PC1-AA60821-PC1	159,235	144,8863636
AA60821-PC1-AA60821-PC1	110,619	66,7539267
AA60821-PC1-PC1-AA60821	87,719	0
AA60821-PC1-PC1-AA60821	110,619	73,27586207
AA60821-PC1-PC1-AA60821	136,612	109,9137931
AA60821-PC1-PC1-AA60821	100,401	48,11320755
AA60821-PC1-PC1-AA60821	174,825	161,3924051
AA60821-AA60821-PC1-PC1	87,719	9,9609375
AA60821-AA60821-PC1-PC1	111,111	74,56140351
AA60821-AA60821-PC1-PC1	159,235	141,6666667
AA60821-AA60821-PC1-PC1	82,236	0
PC1-AA60821-PC1-AA60821	87,108	31,09756098
PC1-AA60821-PC1-AA60822	110,132	79,6875
PC1-AA60821-PC1-AA60823	135,869	113,8392857
PC1-AA60821-PC1-AA60824	71,633	0
PC1-AA60821-AA60822-PC1	87,412	43,22033898
PC1-AA60821-AA60822-PC1	110,619	79,6875
PC1-AA60821-AA60822-PC1	135,869	118,0555556
PC1-AA60821-AA60822-PC1	70,821	0
PC1-PC1-AA60821-AA60821	87,412	39,23076923
PC1-PC1-AA60821-AA60821	111,111	86,14864865
PC1-PC1-AA60821-AA60821	159,235	151,7857143
PC1-PC1-AA60821-AA60821	72,046	0

Como se puede apreciar, la cantidad de ensayos empíricos, no es tan alta como la de simulaciones en Abaqus, por lo que para analizar la validez del modelo, se analizó el porcentaje de error existente entre el valor del límite balístico en la simulación y el obtenido en los ensayos empíricos, para cada una de las configuraciones. Para ello se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%Error = ABS\left(\frac{V_{sim} - V_{exp}}{V_{exp}}\right) \times 100 \quad (5.1)$$

De esta manera, aplicando dicha fórmula a todas las configuraciones, podemos observar el porcentaje de error promedio entre todas ellas obtenido en las simulaciones, y ver si se trata de un valor de error asumible. Los valores de dichos errores se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 5.5 PORCENTAGES DE ERROR SIMULACIÓN-EXPERIMENTAL

Configuración	Lim.Balístico sim (m/s)	Lim.Balístico exp (m/s)	Error (%)
Al6082-PC-Al6082-PC	76	88,339	13,97
Al6082-PC-PC-Al6082	77,75	87,719	11,36
Al6082-Al6082-PC-PC	74	82,236	10,02
PC-Al6082-PC-Al6082	77	71,633	7,49
PC-Al6082-Al6082-PC	74,75	70,821	5,90
PC-PC-Al6082-Al6082	79	72,046	9,65
Error promedio			9,73

El error presente en estas simulaciones se podría deber a los siguientes motivos:

- En las simulaciones numéricas, el proyectil se sitúa, a diferencia de en los ensayos experimentales, lo más próximos posible a las placas, sin contacto de ningún tipo, para reducir el coste computacional de cada simulación, ya que si situásemos el punto de lanzamiento del proyectil, a la misma distancia que en el ensayo experimental, el programa necesitaría días para completar la simulación, al ir simulando en intervalos de tiempo infinitesimales para asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos. En esta distancia, el proyectil está sometido a la resistencia del aire del ambiente, perdiendo, por poca que sea, energía en el movimiento, y por tanto al alcanzar la placa llega con una menor velocidad que la inicial, mientras que, en la simulación, no hay espacio suficiente para que esto ocurra, ni tampoco se ha introducido paramétricamente dicha resistencia.
- También habría que tener en cuenta, el error de los equipos de medida de las velocidades en el ensayo empírico, que, además, siendo dos puntos de medida, uno para la velocidad inicial y otro para la velocidad residual, se duplicaría dicho error.
- Del mismo modo, el propio programa Abaqus, tiene su propio porcentaje de error en los cálculos, dependiente de los decimales introducidos en las

propiedades, que se va arrastrando en todos los cálculos durante el desarrollo del método de los elementos finitos.

De cualquier manera, el error promedio, es menor al 10% por lo que se podría afirmar, que se trata de una modelización válida, y que con más de un 90% de confiabilidad, los resultados y simulaciones futuras, realizadas con dicha modelización de estos materiales, serían muy próximos a la realidad.

De esta forma, también se confirma la hipótesis planteada al comienzo del proyecto, según la cual esta herramienta informática, representa una forma válida y fiable de realizar simulaciones, y reducir así el número de experimentos o ensayos empíricos necesarios durante un proceso de diseño de piezas, sometidas a los esfuerzos que dicho programa ofrece la posibilidad de simular, como se mencionó en el Capítulo 1, y por consiguiente optimizar y reducir los costes de dicho proceso de diseño.

5.2 Ajuste a un modelo analítico.

Una vez confirmadas las hipótesis planteadas al comienzo del presente proyecto, y validado el modelo propuesto en Abaqus, se procede a proponer un modelo analítico capaz de describir el comportamiento de este material híbrido de Aluminio 6082-T6 y PC.

Este modelo, se basa en la ecuación de Recht e Ipson, la cual tiene la siguiente forma:

$$V_r = (V_o^K - V_{LB}^K)^{1/K} \quad (5.2)$$

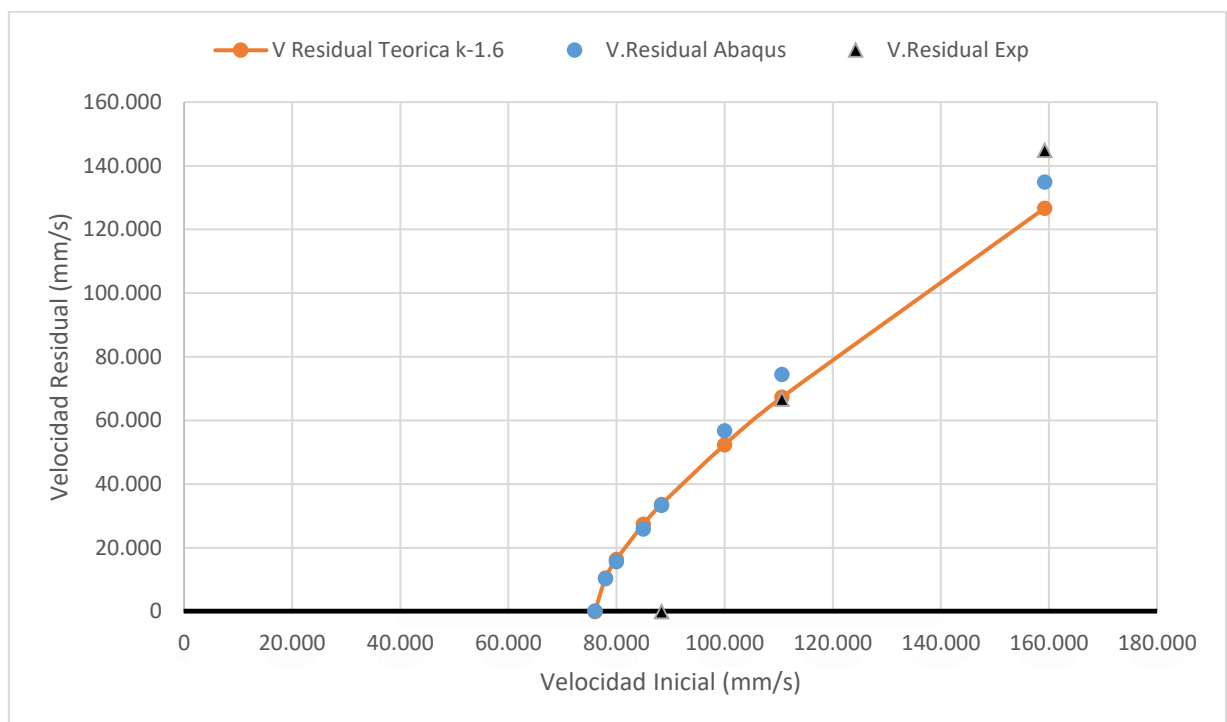
Donde V_r , hace referencia a la velocidad residual del proyectil tras el impacto; V_o , es la velocidad inicial del proyectil; V_{LB} , se refiere al límite balístico, distinto en cada una de las configuraciones; y por último, K , es un coeficiente, cuyo valor se debe determinar experimentalmente.

Para la determinación de dicho valor K , se utilizan los resultados obtenidos en la simulación, ya que se dispone de un mayor número de datos para conseguir un valor mucho más preciso.

Se procede sustituyendo distintos valores de K en la ecuación de Recht e Ipson, y se calcula el error promedio de las velocidades residuales obtenidas con dicho valor de K, y las obtenidas en las simulaciones de Abaqus. Los valores con el menor error posible, para cada una de las configuraciones, se muestran a continuación en las tablas 21 a 26, así como sus respectivas gráficas para ver de forma visual los valores obtenidos:

TABLA 5.6 POERCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN-NUMÉRICO CONFIG 1

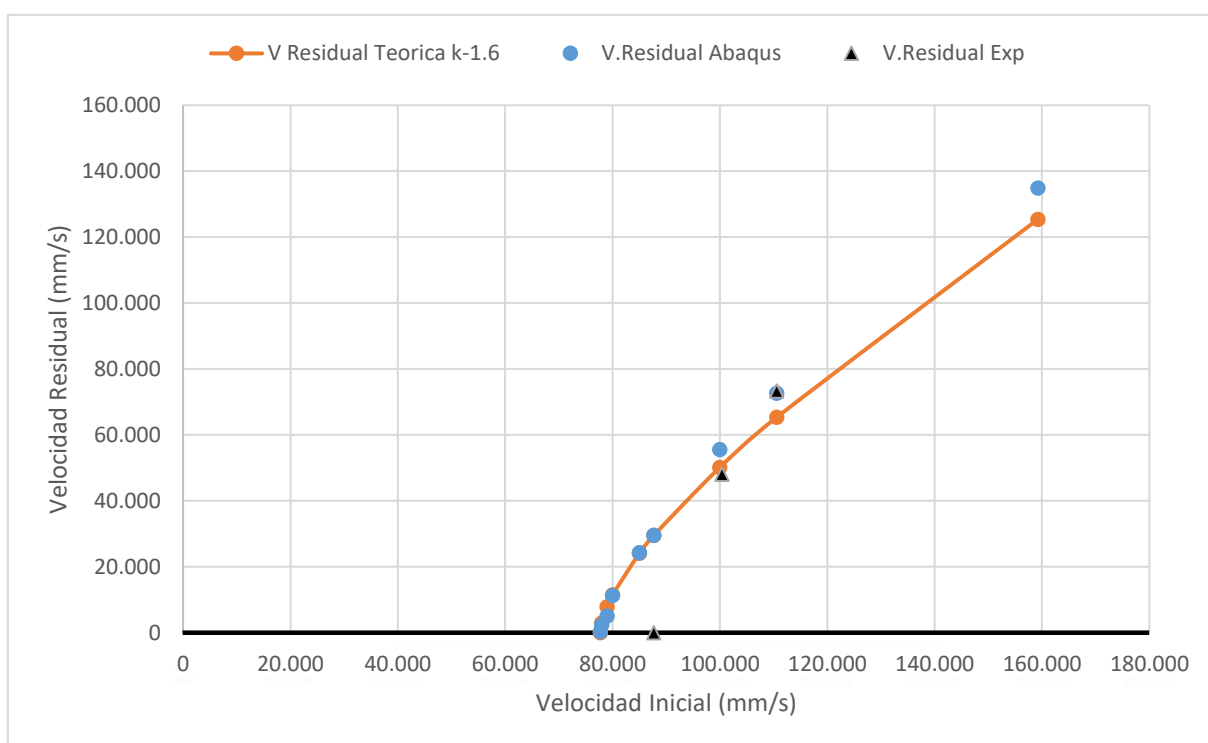
Configuración	Vr (k=1,6) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
Al6082-PC-Al6082-PC	126,707	134,964	6,12
	67,297	74,466	9,63
	52,382	56,757	7,71
	33,696	33,307	1,17
	27,455	25,941	5,84
	16,345	15,700	4,11
	10,548	10,299	2,41
Error promedio			5,28



Graf. 5.3 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 1

TABLA 5.7 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN-ANALÍTICO CONFIG 2

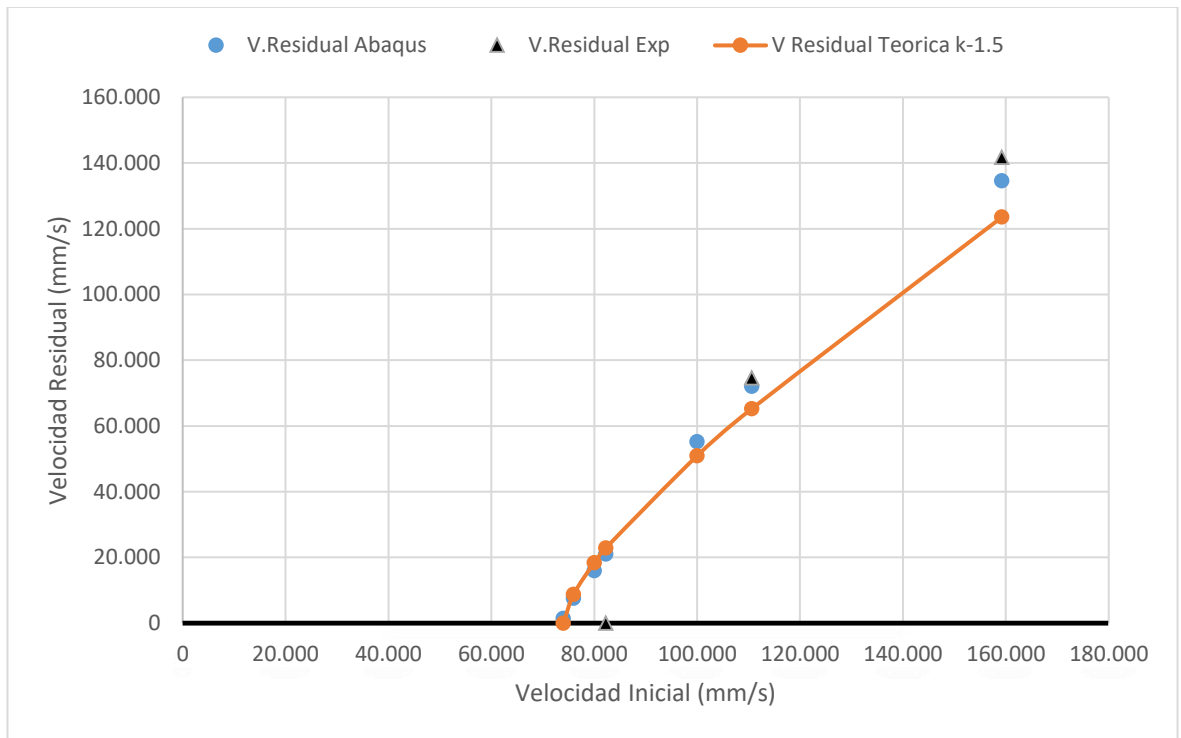
Configuración	Vr (k=1,6) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
Al6082-PC-PC-Al6082	125,406	134,874	7,02
	65,385	72,631	9,98
	50,151	55,548	9,72
	29,568	29,496	0,25
	24,082	24,244	0,67
	11,456	11,225	2,06
	7,915	5,039	57,09
	2,887	2,334	23,73
Error promedio			13,81



Graf. 5.4 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 2

TABLA 5.8 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO CONFIG 3

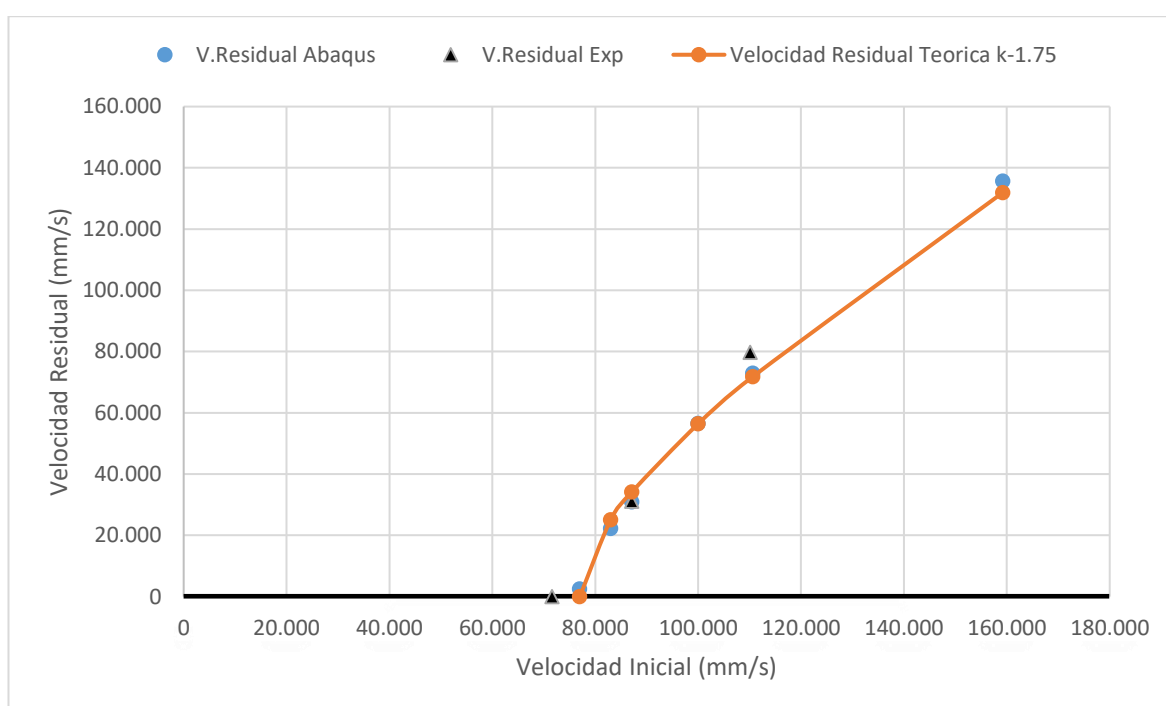
Configuración	Vr (k=1,5) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
Al6082-Al6082-PC-PC	123,519	134,591	8,23
	65,233	72,044	9,45
	50,926	55,197	7,74
	22,843	21,009	8,73
	18,407	15,957	15,35
	8,772	7,564	15,98
Error promedio			10,91



Graf. 5.5 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 3

TABLA 5.9 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN-ANALÍTICO CONFIG 4

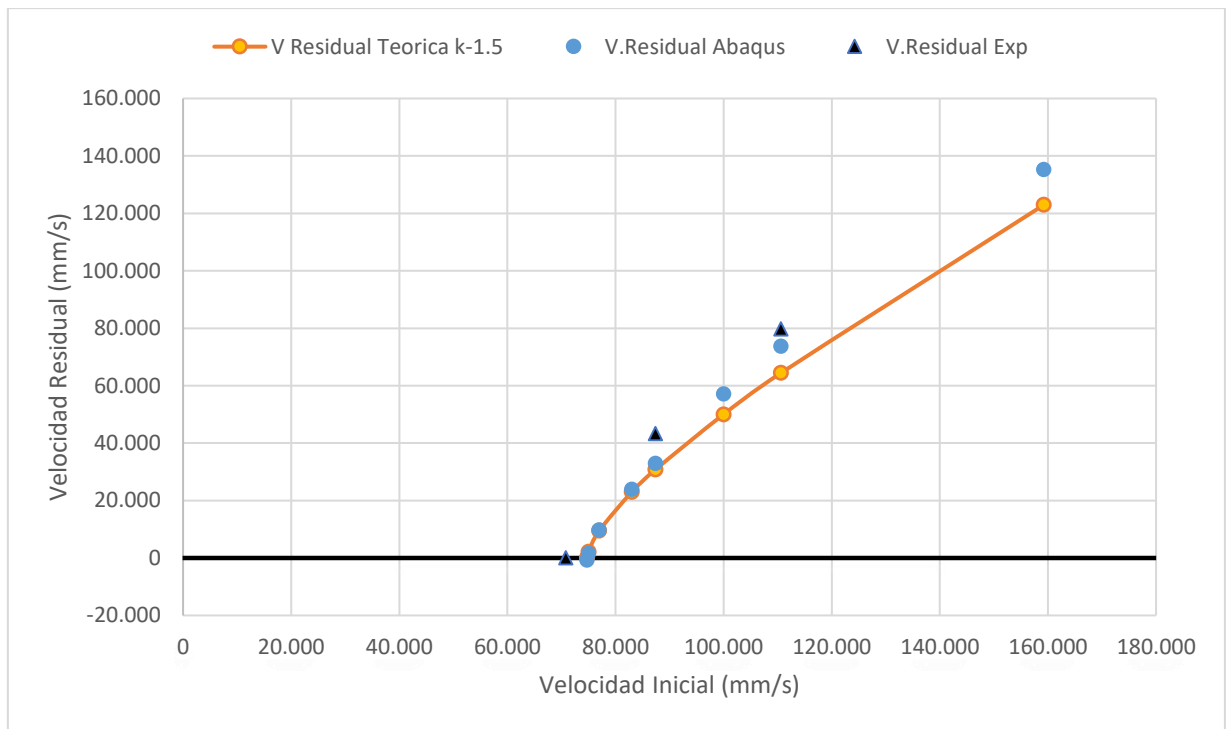
Configuración	Vr (k=1,75) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
PC-AI6082-PC-AI6082	131,939	135,621	2,71
	71,814	72,941	1,54
	56,400	56,554	0,27
	34,141	30,868	53,25
	25,068	22,278	18,79
Error promedio			15,31



Graf. 5.6 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 4

TABLA 5.10 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO CONFIG 5

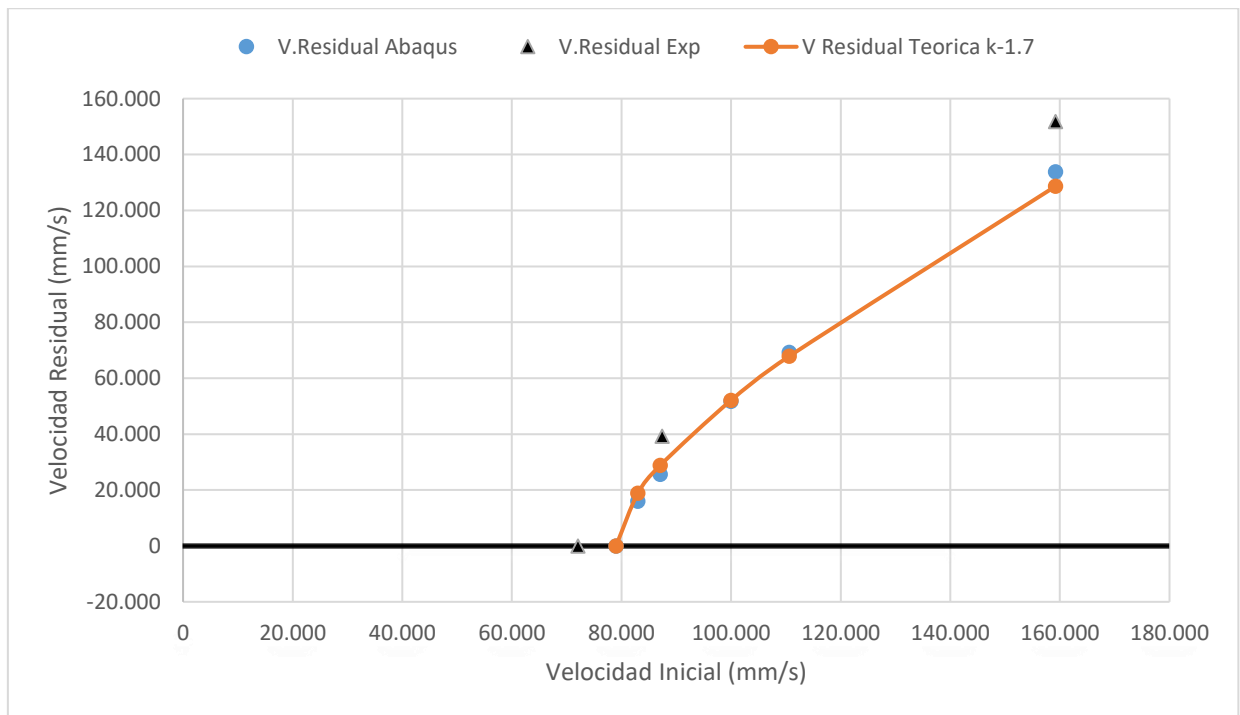
Configuración	Vr (k=1,5) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
PC-A16082-A16082-PC	122,937	135,285	9,13
	64,430	73,711	12,59
	50,016	57,072	12,36
	30,806	32,942	6,49
	22,943	23,869	3,88
	9,525	9,727	2,08
	2,192	1,635	34,02
Error promedio			11,51



Graf. 5.7 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 5

TABLA 5.11 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO CONFIG 6

Configuración	Vr (k=1,7) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
PC-PC-AI6082-AI6082	128,692	133,836	3,84
	67,862	69,218	1,96
	52,107	51,791	0,61
	28,874	25,628	12,66
	18,860	16,063	17,41
Error promedio			4,77



Graf. 5.8 Valor de V. Residual analítica, experimental y simulada, Configuración 6

En todos los casos se puede comprobar como el parámetro K que define el modelo analítico se encuentra comprendido entre 1,5 y 1,75. Una vez obtenidos los errores del modelo de Recht e Ipson respecto a los de la simulación de Abaqus, se obtiene un error promedio en todas las configuraciones de un 10,27%, de nuevo un error asumible, que garantiza que con un 90% de confiabilidad las velocidades residuales obtenidas con este modelo serán muy próximas a las reales.

5.3 Comparación del comportamiento a rotura.

Otro punto a tener en cuenta para la validación del modelo es comprobar si Abaqus muestra el mecanismo de rotura esperado en este tipo de ensayos.

Para realizar dicha comparación se toma como referencia las imágenes del material tras los ensayos empíricos, en casos en los que el material no ha sido capaz de detener el proyectil, es decir con velocidades superiores a la del límite balístico.

Al tratarse del mismo material la forma o el tipo de rotura será igual independientemente de la configuración seleccionada, por lo que solo se mostrarán imágenes referentes a la misma configuración tanto en Abaqus, como en los ensayos empíricos, en este caso la configuración 2.

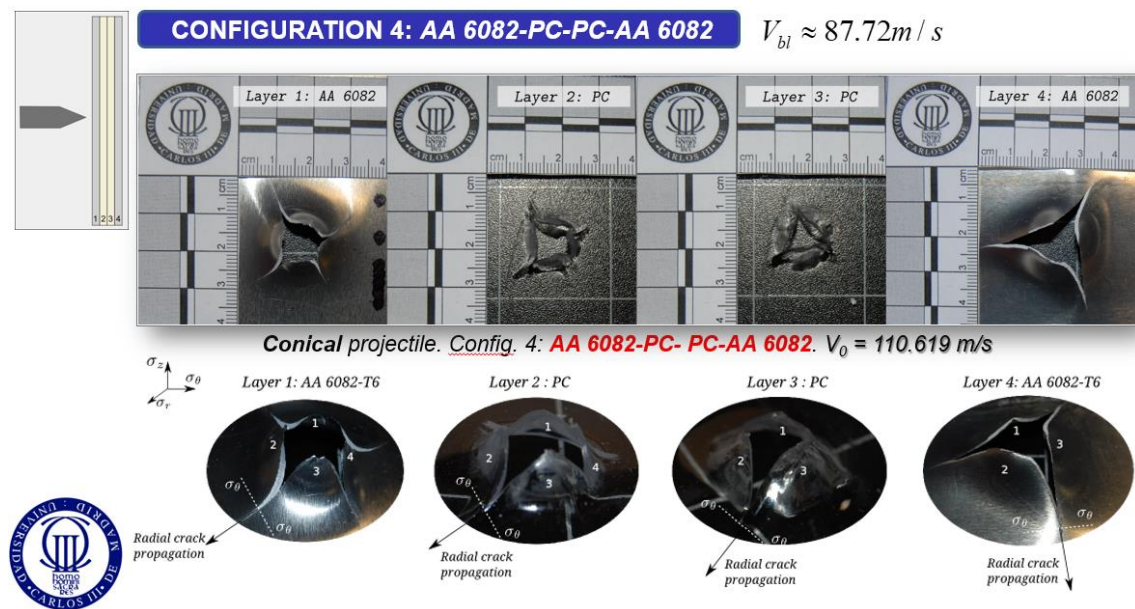


Fig. 5.1 Estado de las placas tras el ensayo empírico (Config 2) [5]

A continuación, se mostrará el estado final de las placas, referentes a dicha configuración, y para la misma velocidad mencionada en la parte superior de la Fig. 5.1 (87,72 m/s).

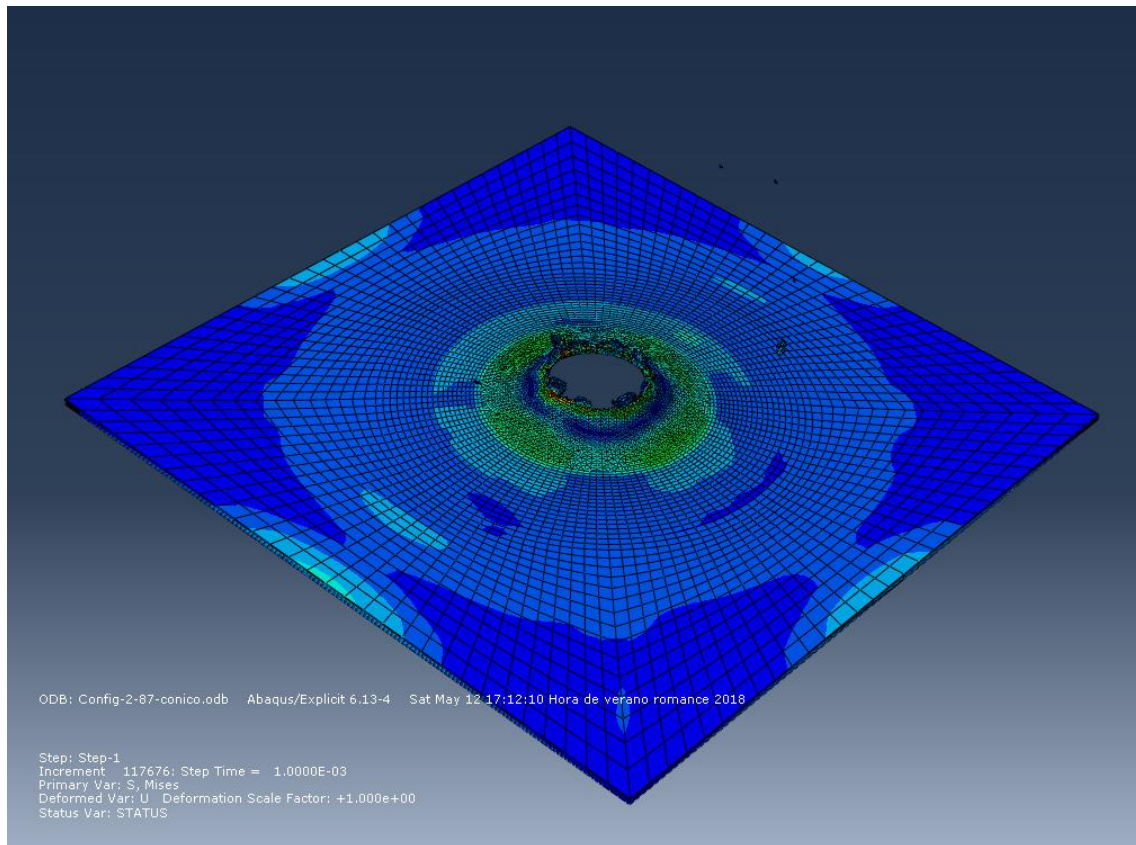


Fig. 5.2 Placa 1 AA6082-T6 (Config 2)

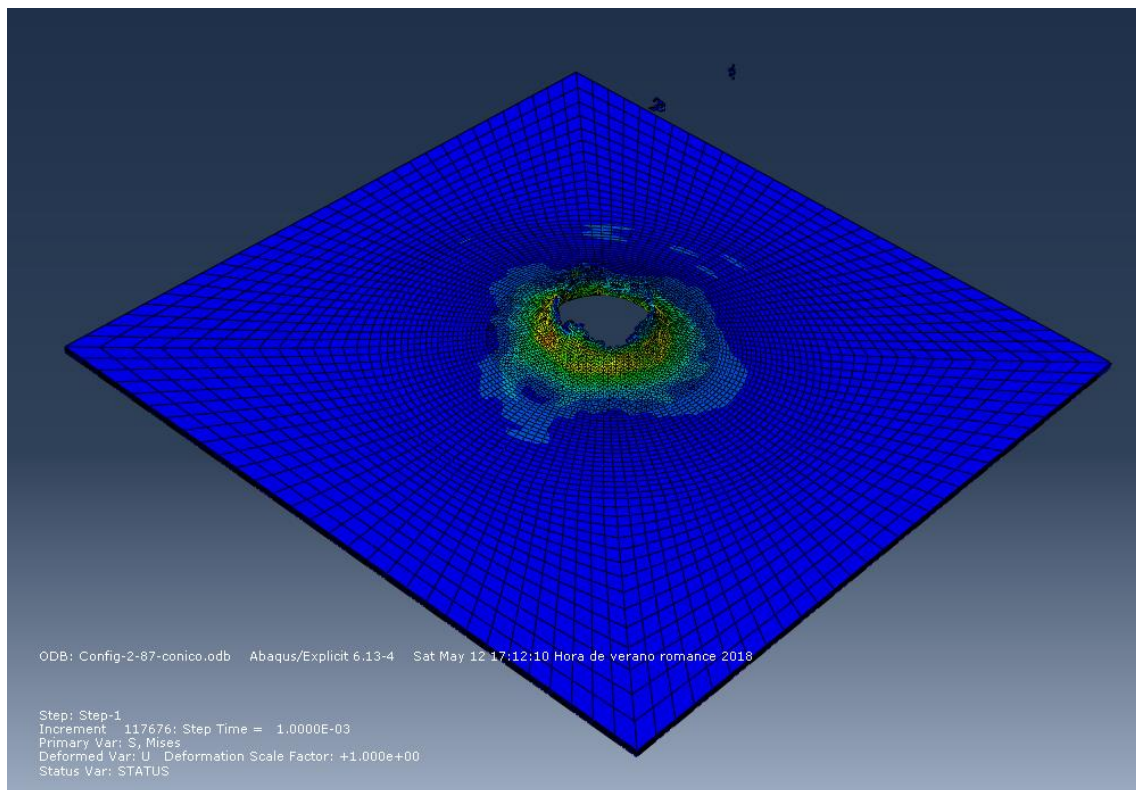


Fig. 5.3 Placa 2 PC (Config 2)

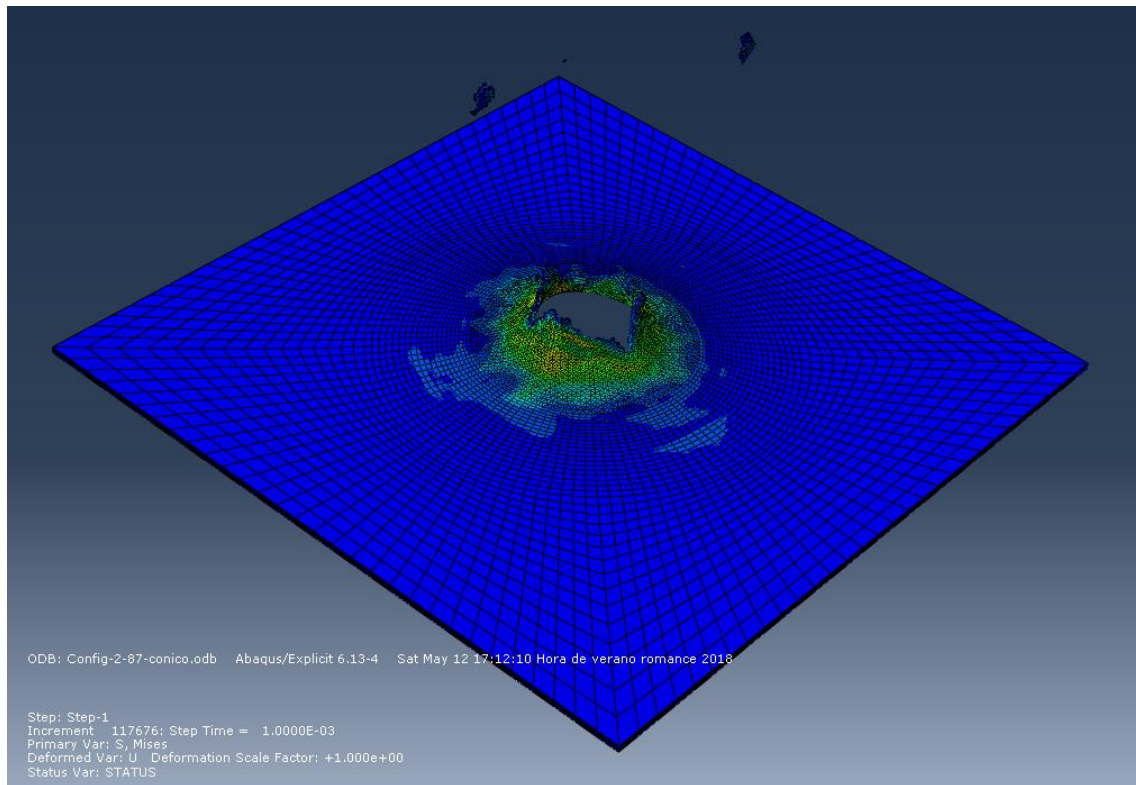


Fig. 5.4 Placa 3 PC (Config 2)

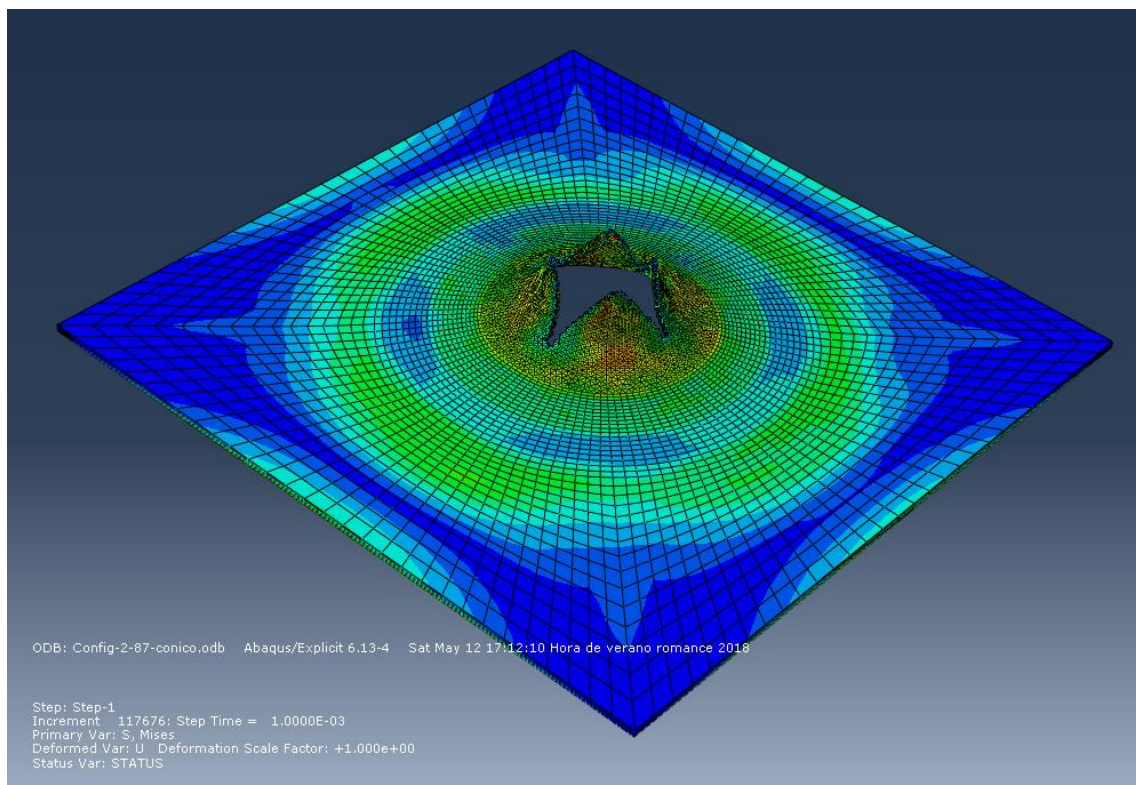


Fig. 5.5 Placa 4 AA 6082-T6 (Config 2)

Como se puede apreciar en las imágenes anteriores, la forma de rotura de cada placa es muy similar a la obtenida en los ensayos del laboratorio, obteniéndose la forma de

rotura conocida como *petalling*, definida en el punto 2.3.1 *Comportamiento a rotura*, del presente proyecto. Por lo que el modelo reproduce de forma fiable el ensayo, no solo a nivel de resultado numéricos, sino también en cuanto al comportamiento del material híbrido a rotura.

5.4 Conclusiones parciales.

En base a los resultados obtenidos en las simulaciones tanto del policarbonato, como del propio material híbrido, y sus respectivos errores con los ensayos empíricos, se podría asegurar que se trata de una modelización de dicho material totalmente válida para la realización de simulaciones con el mismo, sin necesidad de recurrir a ensayos de laboratorio (mucho más costosos económicamente), salvo para la comprobación y calibración final tras el proceso de diseño. Reduciéndose así, no solo el coste económico de este proceso, sino también el tiempo empleado en el mismo.

Esta conclusión queda reforzada, con los resultados analizados en el apartado anterior 5.3 *Comparación del comportamiento a rotura*, en los que se demuestra que, con el grado de imprecisión correspondiente debido a la dificultad que conlleva, el programa es capaz de simular de forma veraz y fiable la posible rotura del material.

Del mismo modo cabe señalar que, el modelo analítico de Recht e Ipson propuesto, también reproduce de forma fiable los resultados empíricos, pudiendo emplearse dicha herramienta, para la realización de cálculos previos al lanzamiento de simulaciones con este modelo en Abaqus, reduciéndose, aún más, el posible tiempo empleado en el proceso completo de diseño.

Como última conclusión, es interesante sacar también impresiones sobre el material híbrido en sí, no solo de la herramienta de simulación. De esta forma, se podría afirmar que las configuraciones más adecuadas para una posible aplicación de blindaje de este material serían las configuraciones, uno (AA6082-T6-PC-AA6082-T6-PC) y dos (AA6082-PC-PC-AA6082), las cuales muestran los mayores límites balísticos experimentales, con apenas 1,4 m/s de diferencia. Por ello, y por su menor porcentaje de error entre límite balístico experimental y simulado, los ensayos descritos en el siguiente capítulo se realizarán únicamente sobre la configuración dos del material.

A modo de apunte, se desea aclarar el formato de los resultados presentados a lo largo de este capítulo, los cuales se mostraban en mm/s para las gráficas de comportamiento, ya que en Abaqus se ha trabajado en dichas unidades, pero a la hora de mostrar resultados más concretos, como los presentados en las distintas tablas, se pasaban los valores a unidades del sistema internacional.

6 SIMULACIONES DE COMPORTAMIENTO ANTE DISTINTOS ESFUERZOS.

6.1 Variación geométrica del proyectil.

Para la realización de estos ensayos y la comparación no solo entre sí, sino también con los ensayos realizados durante la validación del modelo, se ha empleado el mismo material para la definición de las propiedades de los nuevos proyectiles y se han dimensionado los mismos, de tal manera que todos tuvieran la misma masa (30g).

Los cálculos realizados para determinar las medidas que definen el volumen, se muestran a continuación, en los que para mantener el mismo volumen, y por tanto la misma masa, era necesario mantener constante, o bien la longitud total del proyectil, o bien el radio del mismo, decidiéndose mantener este último constante, ya que de esta forma, el área de contacto con el material híbrido no se vería alterada.

- Proyectil hemiesférico: De la *Fig1.1* se mantiene el radio de la base del proyectil en 7,5mm. Y de Abaqus se puede obtener el volumen de dicho proyectil que en este caso es de 3804.99mm³.

$$\frac{2}{3}\pi r^3 + \pi r^2 l = 3804.99 \quad (6.1)$$

Siendo el primer sumando el volumen de la punta semiesférica, y el segundo, el volumen de la parte cilíndrica del proyectil. Así, conocido el radio:

$$l = \frac{3804.99 - \frac{2}{3}\pi r^3}{\pi r^2} = 16.53 \text{ mm} \quad (6.2)$$

A dicha longitud, correspondiente únicamente al cuerpo cilíndrico del proyectil, se le añade la altura de la punta semiesférica, correspondiente al radio de la misma, y se obtiene una longitud total de la misma de 24,03mm.

Una vez obtenidas las dimensiones y siguiendo los pasos descritos en el capítulo 4, el resultado final será el siguiente.

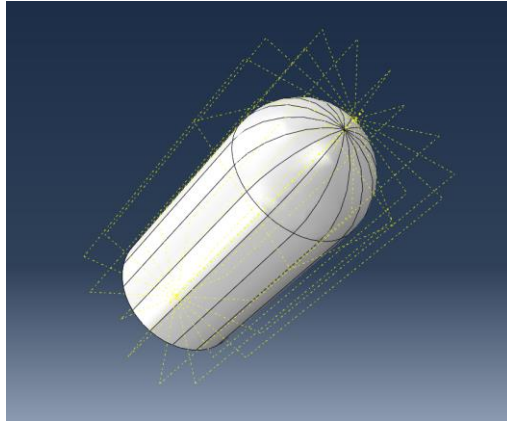


Fig. 6.1 Proyectoil hemiesférico

- Proyectoil plano: Siguiendo la misma dinámica que con el proyectoil anterior, se procedió, con el proyectoil plano, siendo este mucho más sencillo.

$$\pi r^2 l = 3804.99 \quad (6.3)$$

Conocido de nuevo el radio de 7,5 mm:

$$l = \frac{3804.99}{\pi r^2} = 21.53 \text{ mm} \quad (6.4)$$

Siendo el resultado final en este caso el siguiente:

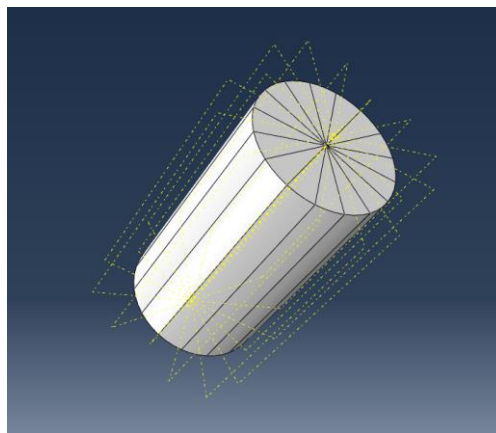
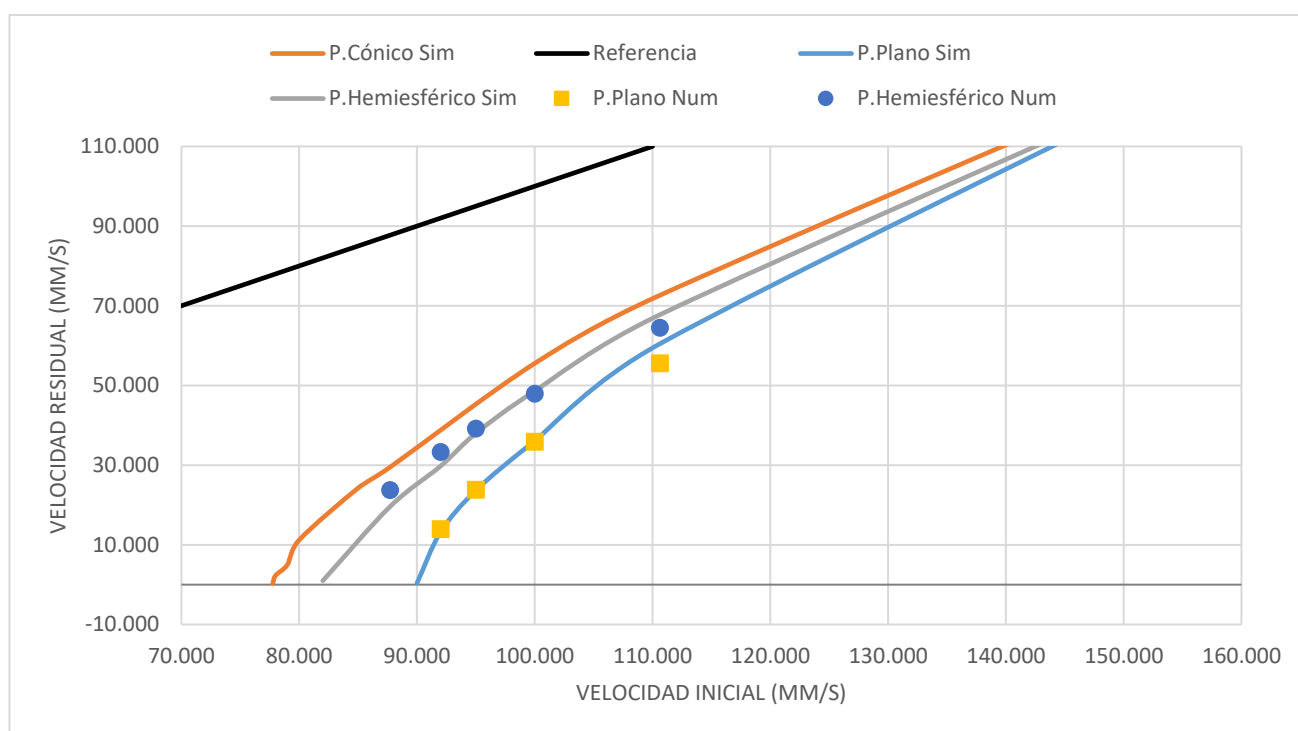


Fig. 6.2 Proyectoil plano o blunt

Siguiendo los pasos previamente mencionados en el capítulo 4, para la modelización del conjunto necesario para el ensayo, se obtienen dos nuevos ensayos, con proyectiles de distinta geometría, que impactan exactamente en el mismo punto y con la misma área de impacto que el ensayo de validación.

Tras varias simulaciones, se determinó de nuevo el límite balístico con estos nuevos proyectiles, y se aplicó también el modelo de ajuste analítico a estos nuevos ensayos.



Graf. 6.1 Resultados simulación y ajuste analítico de los distintos proyectiles

Los resultados mostrados en la gráfica anterior concuerdan con lo que cabría esperar, ya que el ensayo con mayor límite balístico es el del proyectil plano, lo cual se explica porque aumenta el área de contacto justo en el momento del impacto, por lo que la fuerza del proyectil se reparte por un área mayor, reduciendo así la presión ejercida sobre el material híbrido, y por consiguiente los esfuerzos a los que este se encontrará sometido.

Siguiendo esta explicación, tiene sentido que el ensayo con el proyectil hemisférico también tenga un mayor límite balístico respecto al del proyectil de punta cónica, pero uno menor que el del proyectil de punta plana.

Además, como se puede apreciar también en la gráfica, los resultados del modelo analítico de Richt e Ipson, también son muy próximos a los obtenidos en las simulaciones, obteniéndose tanto en el de punta plana, como en el de punta hemiesférica, errores más que asumibles, del 4.6% y del 5,1% respectivamente, pudiéndose por tanto emplear dicho modelo en ensayos con distintas geometrías de proyectil.

TABLA 6.1 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO PROYECTIL PLANO

Configuración	Vr (k=1,74) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
Proyectil Punta Plana	122.04	132.36	7.80
	55.54	60.45	8.12
	35.81	36.10	0.79
	23.78	23.66	0.50
	13.94	13.18	5.83
Error promedio			4.61

TABLA 6.2 PORCENTAGE DE ERROR SIMULACIÓN- ANALÍTICO PROYECTIL HEMIESFÉRICO

Configuración	Vr (k=1,74) (m/s)	Vr sim (m/s)	Error (%)
Proyectil Hemisférico	126.52	131.94	4.11
	64.42	67.75	4.91
	47.92	48.60	1.39
	39.12	37.98	3.01
	33.30	29.76	11.90
	23.72	19.62	20.95
Error promedio			5.06

Por último, sería necesario saber si el modelo de Abaqus, es capaz de reproducir el modo de fallo en este tipo de ensayos, ya que no será el mismo que en el caso de punta cónica.

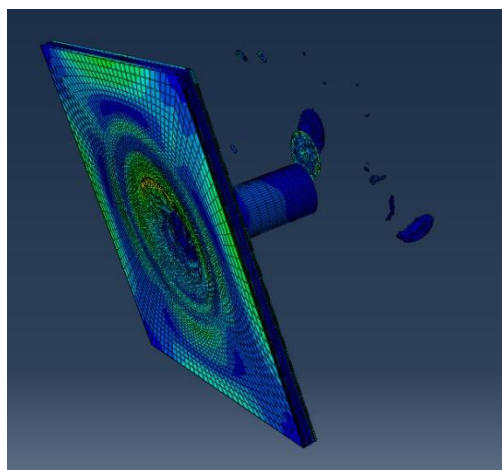


Fig. 6.3 Comportamiento simulado a rotura proyectil plano (plugging)

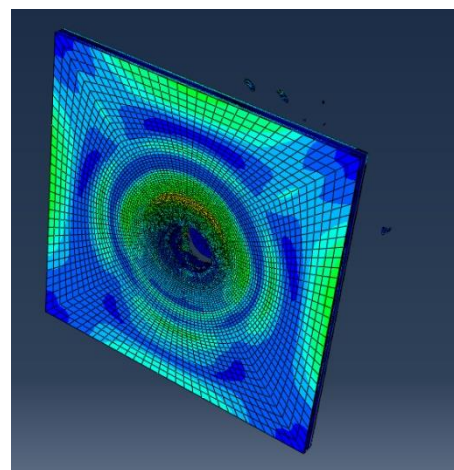


Fig. 6.4 Comportamiento simulado a rotura proyectil plano (plugging)

En las imágenes anteriores, se muestra el resultado de un ensayo con un proyectil de punta plana, a una velocidad mayor que el límite balístico, en la que se produce lo que se conoce como *plugging*, descrito en el capítulo 2, como cabría esperar en este tipo de ensayos.

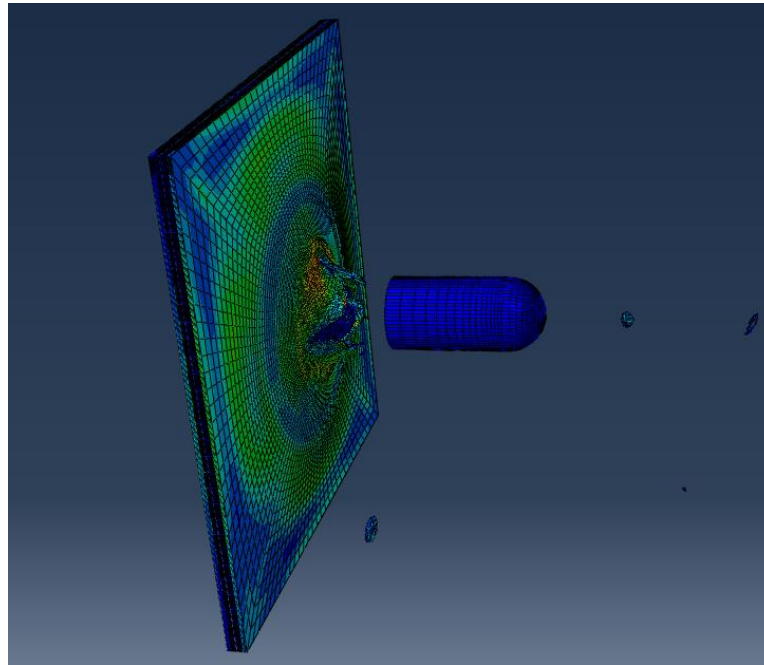


Fig. 6.5 Comportamiento simulado a rotura proyectil hemiesférico (*plugging* + *petalling*)

Mientras que por otro lado, en esta imagen, se muestra el resultado de un ensayo con un proyectil de punta hemiesférica, a una velocidad mayor que el límite balístico, en la que se produce una mezcla entre *plugging* y *petalling*, ya que se abre el material, no siendo una rotura limpia como la del *petalling*, y al mismo tiempo salta una “tapón” del material impactado con la forma del área de contacto (aunque de menor tamaño, al ser esta más pequeña que en el caso anterior), como en el caso del *plugging*. De nuevo, como cabría esperar en este tipo de ensayos.

Por tanto, dicho modelo en Abaqus, también podría emplearse para la simulación de ensayos con proyectiles de distintas geometrías, obteniéndose resultados muy fiables, tanto en cuanto a valores numéricos, como a simulaciones de comportamiento y rotura.

6.2 Aplicación de esfuerzos explosivos.

Para la modelización del explosivo, se toma de nuevo el mismo modelo, pero en este caso, no es necesario incluir ningún proyectil, por lo que se eliminan los proyectiles del *assembly*. A continuación, se define un punto de referencia con la herramienta *Tools*, *Reference point*, y le damos la distancia que deseemos.

Este punto de referencia será el punto donde se iniciará la explosión, y la distancia será de 400 mm, representativa de una mina antipersona (para tener una referencia real, y no introducir una distancia aleatoria). Para confirmar que el material es capaz de soportar el esfuerzo producido por este tipo de explosivos, deberá soportar al menos la detonación de 100g de TNT [52].

Para la modelización del explosivo, se emplea el módulo *Interaction*, y en concreto la herramienta, *Create interaction*. En el desplegable, seleccionamos la función *Incident wave*, y definimos el punto de referencia y le damos la funcionalidad *CONWEP*. En ese mismo cuadro desplegable, se selecciona la opción *Create initial property*, y de nuevo *Incident wave*, en este caso concreto será una interacción de tipo *Air/Surface blast*. Marcando la superficie libre de la primera placa del material híbrido, se completa la modelización del esfuerzo explosivo.

El siguiente paso es determinar la carga máxima a esa distancia que el material es capaz de soportar. Para este objetivo, se compara el comportamiento de la placa empleada para la validación del policarbonato y el comportamiento de la configuración seleccionada del material híbrido, pudiendo así determinar la influencia del aluminio ante este tipo de esfuerzos, en comparación con la exposición del policarbonato por sí solo.

Al lanzar las simulaciones, se pudo apreciar que en el caso del material híbrido, el aluminio rompía antes que el policarbonato, por lo que se considera la carga máxima, aquella a la que ambos materiales rompen. Del mismo modo, en el caso del policarbonato, se aprecia una gran deformación, e incluso, que la placa se va separando de las fijaciones laterales (empotramiento), sin llegar a romperse del todo, por lo que, en este caso, se considera como carga máxima, aquella a la que el material rompe por completo, o se separa por completo de las fijaciones laterales.

Dichas cargas máximas serán de 550g en el caso del material híbrido, y 600g en el caso del policarbonato.

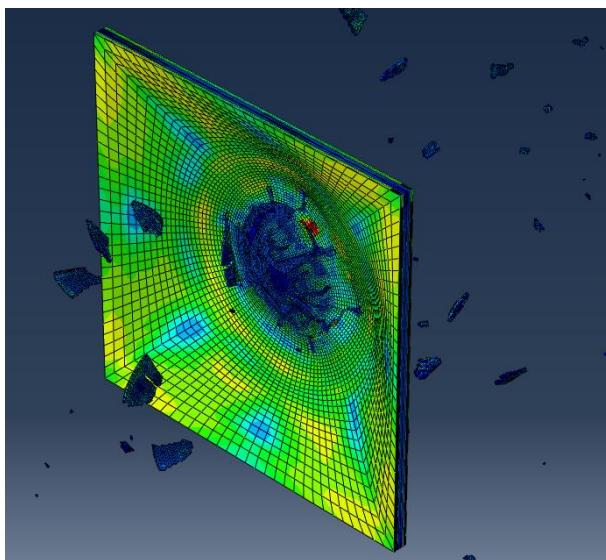


Fig. 6.7 Comportamiento a rotura del material híbrido ante esfuerzo explosivo

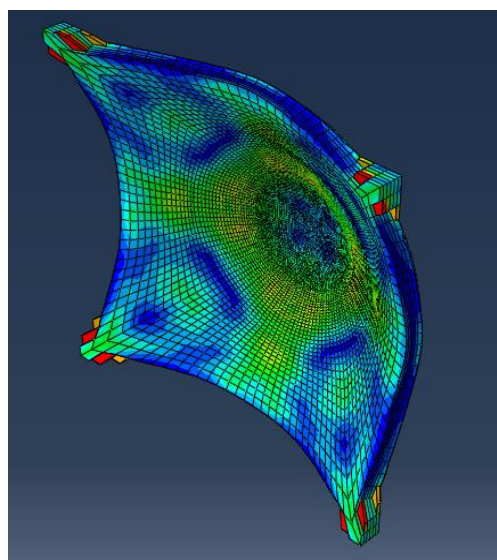


Fig. 6.6 Comportamiento a rotura del PC ante esfuerzo explosivo

En el caso del PC, se emplea la misma probeta de ensayo que la empleada para la validación del mismo (con 6mm de espesor), al calcular el ratio carga máxima de explosivo-peso total del material se obtiene un valor de 8,3, mientras que en el caso del material híbrido (espesor de 4mm) el valor de dicho ratio es de 7,05. A pesar de tener un peor ratio, la adición del aluminio aporta varias ventajas de cara a una posible aplicación.

Por un lado, es beneficiosa la mayor rigidez del material gracias a la influencia del aluminio, que permite unas deformaciones más controladas, como se puede apreciar en las figuras *Fig. 6.6* y *Fig. 6.7*.

Por otro lado, para soportar prácticamente la misma carga de explosivo (apenas 50g de diferencia), la adición del aluminio permite una reducción dimensional, ya que el material requiere de un menor espesor (6mm del PC frente a los 4mm del material híbrido), lo que podría ser de ayuda de cara a una posible optimización del mismo o a unas estrictas condiciones o limitaciones de diseño.

Es de utilidad también, ver como el programa es capaz de simular también el modo de fallo de forma muy fiable, ya que como cabría esperar en el caso del material de estudio se produce una fragmentación, también definida en el capítulo 2.

7 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FUTURAS

En el presente trabajo se ha desarrollado un modelo numérico tridimensional de impacto balístico contra laminados híbridos. Tal y como se discutió en las conclusiones parciales indicadas en el punto 5.4 *Conclusiones parciales*, el modelo ha sido validado, con porcentajes de error menores al 10%, que hacen de él un modelo muy fiable, de cara a futuras simulaciones.

De la misma manera, se han ajustado los resultados obtenidos a un modelo analítico, el modelo de Richt e Ipson, pudiendo así emplearse para una aproximación previa al diseño, con errores también muy asumibles.

Uniando dichas conclusiones con lo analizado en el capítulo anterior, se puede afirmar que el modelo también es capaz de simular de forma precisa el comportamiento ante proyectiles con diferente geometría o ante esfuerzos explosivos, reproduciendo de forma acertada también el modo de rotura ante cada uno de estos ensayos.

Por consiguiente, tanto el modelo de Abaqus, como el modelo analítico, podrían emplearse como herramientas precisas de cara a un proyecto de diseño de este tipo de elementos, que pudieran estar sometidos a las solicitaciones analizadas, como es el caso de una protección personal o un material de blindaje, ahorrando tiempo y dinero en dicho proceso (reduciendo el número de ensayos de laboratorio a los imprescindibles, como las pruebas de calibración y comprobación finales).

Gracias a los resultados analizados a lo largo de este proyecto, unidos a los comentarios y consejos por parte del señor Javier de la Concepción, ingeniero mecánico de la policía nacional, se llegó a la conclusión de que el material propuesto, podría ser empleado como elemento de blindaje de vehículos, más que para protecciones ligera, ya que no tiene la flexibilidad necesaria para este tipo de uso, comparado con el Kevlar empleado hoy en día.

De esta forma, se podría afirmar que las configuraciones más adecuadas para una posible aplicación de blindaje de este material serían las configuraciones, uno (AA6082-T6-PC-AA6082-T6-PC) y dos (AA6082-PC-PC-AA6082), las cuales muestran los mayores límites balísticos experimentales, con apenas 1,4 m/s de diferencia.

En las posibles consideraciones futuras, sería interesante continuar con un análisis del propio material, no tanto del modelo en sí, que ha quedado validado a lo largo de este proyecto, para comprobar la utilidad del material híbrido como material de blindaje, y compararlo con los materiales empleados en la actualidad, mencionados en el capítulo 3.

Debido a la falta de tiempo no se han podido llevar a cabo estos ensayos enfocados más a lo previamente comentado, ya que se han realizado más de 100 simulaciones, y las limitaciones computacionales del ordenador portátil disponible, han impedido la realización de estas últimas simulaciones previo a la fecha de entrega, alguna de las cuales estaban ya incluso planteadas y modelizadas.

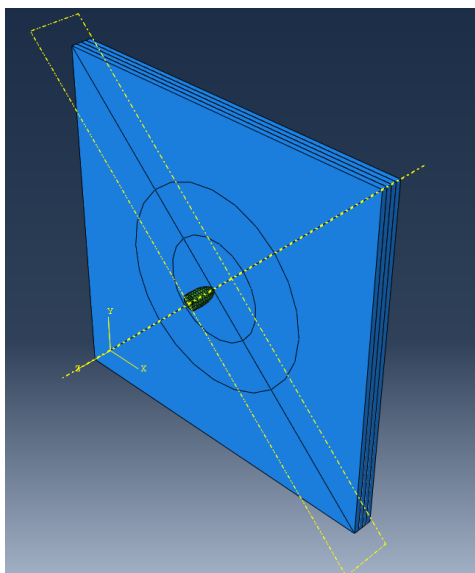


Fig. 7.1 Ensamblado del ensayo con proyectil estandarizado de 9 mm

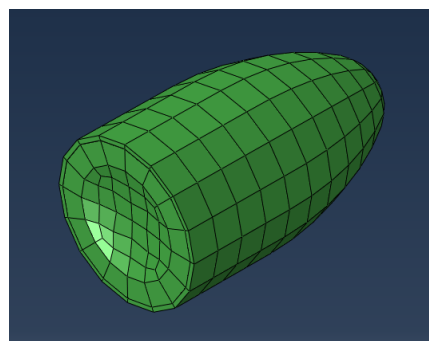


Fig. 7.2 Proyectil estandarizado de 9 mm

Es el caso del ensayo de comportamiento ante un proyectil estandarizado de 9 mm de calibre. El objetivo de este ensayo era comprobar el nivel de seguridad que obtendría el material propuesto, según la norma EN 1063, y comparar el resultado con las especificaciones del pliego adjunto como Anexo 2, aportado por la policía nacional, teniendo en cuenta que el material de estudio es mucho más ligero que el acero balístico empleado en la actualidad.

Al mismo tiempo se podría variar la inclinación del blindaje, para comprobar el nivel de influencia del espesor virtual, mencionado en el capítulo 2, proponer un diseño

aplicable al blindaje de un vehículo comercial, e incorporar una última capa de Kevlar, para mejorar el límite balístico y proteger el interior de los posibles fragmentos de material híbrido que fuesen impulsados hacia el interior del vehículo tras el impacto.

8 ENTORNO SOCIOECONÓMICO

Como se ha expuesto en el punto *1.3 Estado del arte*, no solo las armas sino también los materiales para protegerse de ellas están en continua evolución, siendo en todo momento una gran preocupación para la sociedad.

En los Anexos 1 y 2 con la información tratada con la policía nacional, en la entrevista previamente mencionada, incluidos al final del presente proyecto, se puede comprobar dicha preocupación con dos pliegos en los que se destinan 709.302€, para la adquisición de 1000 chalecos antibalas y 600 placas balísticas, y 13.637.300,16€, para la adquisición de 167 turismos blindados.

De esta forma la inclusión en estas industrias de modelos numéricos y analíticos como los presentados a lo largo de esta memoria, permitirán un ahorro de tiempo y dinero en el diseño de elementos empleados en este tipo de aplicaciones, permitiendo así un desarrollo aun más rápido de estas tecnologías y por tanto y como es más importante, una mayor protección para los usuarios de estas, al mismo tiempo que se aumentan los beneficios de las empresas desarrolladoras y los fabricantes.

La realización este tipo de trabajo, donde es primordial el lanzamiento de numerosas simulaciones y la interpretación y tratamiento de una gran cantidad de datos numéricos, requiere de personal especializado (ingeniero) y de equipamiento específico.

En lo que al equipamiento se refiere, sería conveniente la utilización de uno o varios ordenadores con una gran capacidad de procesamiento y que estos estén destinados únicamente a las simulaciones pertinentes, para reducir al máximo el tiempo invertido en cada una de estas.

Por otro lado, en cuanto al personal, sería suficiente con la contratación de un ingeniero con un nivel avanzado en el uso de la herramienta de simulación, Abaqus, y que sea capaz de interpretar los resultados y tomar decisiones acertadas en cuanto a los cambios necesarios en el diseño, para la mejora de los resultados obtenidos y alcanzar los objetivos planteados en el menor tiempo posible, sin lanzar simulaciones innecesarias.

Analizando el caso del presente proyecto, los recursos disponibles han sido un ordenador y un disco duro portátil para el almacenamiento de toda la información necesaria, así como dos personas especializadas, el autor del proyecto y el tutor de este. En total se han realizado más de 100 simulaciones (106), con un tiempo medio de 4 horas por simulación, haciendo un total de 424 horas, a las que hay que añadir un total de 900 horas de redacción, cálculos e investigación, repartidas en un total de 10 meses y 3 horas diarias, y las aproximadamente 80 horas invertidas en la corrección, revisión y consultas del tutor. Los detalles de costes del presente proyecto se describen en la siguiente tabla:

TABLA 8.1 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

	Cantidad	Precio unitario	kWh Diarios	Tiempo Total	Precio Total
Personal	2	14,98 [€/h]		1.324 [h]	19.833,52 [€]
				80 [h]	1.198,4 [€]
Equipo	Ordenador	700 [€]			800 [€]
	Discos duros	100 [€]			
Consumo	Gasto energético	0.1375 [€/kWh]	0.437 [kWh/dia]	300 [dias]	18,02 [€]
Licencia Abaqus	1	33.650 [€]			33.650 [€]
Total					55.499,94 [€]

El sueldo medio del personal se ha obtenido de la página INDEED, y el coste del kWh de la página Tarifaluzhora.es [53] [54].

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] NATO, 2017. Standarization. En: *nato.int*. Disponible en: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_69269.htm [consulta febrero 2018]
- [2] CONSTRUMÁTICA. Sobre las Normas UNE. En: *construmatica.com*. Disponible en: https://www.construmatica.com/construpedia/Sobre_las_Normas_UNE#.C2.BFQu.C3.A9_significan_las_siglas_UNE.3F [consulta febrero 2018]
- [3] Ministerio de defensa. Normalización. En: *defensa.gob.es*. Disponible en: <http://www.defensa.gob.es/portalservicios/servicios/industriadefensa/normalizacion/> [consulta febrero 2018]
- [4] Monografías. Military Standard. En: *monografias.com*. Disponible en: <https://www.monografias.com/docs/Military-Standard-FKTRAFZMZ> [consulta febrero 2018]
- [5] RODRÍGUEZ-MILLÁN, Marcos, 2013. EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE IMPACT BEHAVIOUR OF MONOLITHIC AND MULTI-LAYERED COMPOSITE PLATES OF POLYCARBONATE AND ALUMINIUM AA 6082-T6. Leganés: Universidad Carlos III [consulta, marzo 2018].
- [6] LAHANAS, Michael, 2017. *Ancient Greek war machines: The Helepolis, a fortified wheeled tower*. En: *Wikipedia*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20091020082612/http://www.mlahanas.de/Greeks/war/Helapolis.htm> [consulta marzo 2018]
- [7] El mutie, ACB En: *World of armour*. Disponible en: <https://sites.google.com/site/worldofarmor/blindaje/evolucion-de-los-blindajes> [consulta marzo 2018]
- [8] ALONSO ARRANZ, Iñigo, 2002. En: *de 1939 a 1945*. Disponible en: <http://www.de1939a1945.com/tecnicos/016cargahueca.html> [consulta marzo 2018]
- [9] Kalashnikover, 2012. En: *Curiosarmas. Blogspot*. Disponible: <http://curiosarmas.blogspot.com.es/2012/10/municion-heat.html> [consulta marzo 2018]
- [10] Globalsecurity.org, 2017. En: *Al Khalid MBT-2000 / Type 2000 Main Battle Tank* Disponible en: <https://www.globalsecurity.org/military/world/pakistan/mbt-2000.htm> [consulta marzo 2018]
- [11] Wikipedia, 2017. En: *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Blindaje_reactivo [consulta marzo 2018]
- [12] Wikipedia, 2017. En: *Wikipedia*. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Blindaje_Chobham [consulta marzo 2018]
- [13] Globalsecurity.org, 2017. En: *ABRAMS TANK (M1A2)* Disponible en: <https://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy1999/dot-e/army/99m1a2.html> [consulta marzo 2018]

- [14] Anónimo, 2015. En: *ultimocartucho*. Disponible en: <http://www.ultimocartucho.es/el-tanque-m1-abrams-jubilacion-anticipada-o-revitalizacion-necesaria/> [consulta marzo 2018]
- [15] elbierzodigital, 2017. En: *Motor.elbierzodigital*. Disponible en: <https://motor.elbierzodigital.com/cadillac-town-sedan-de-1928-el-coche-de-al-capone/> [consulta marzo de 2018]
- [16] ESPINOSA, Jose Luis, 2015. En *Abc*. Disponible en: <http://www.abc.es/motor-reportajes/20150910/abci-mejores-coches-blindados-201509091455.html> [consulta marzo 2018]
- [17] BLANCO GÓMEZ, Javier, 2017. Vulnerabilidades, Tecnologías aplicadas a la investigación. Aranjuez: Centro Universitario de la Guardia civil, en colaboración con Universidad Carlos III de Madrid. [consulta marzo 2018]
- [18] Wikipedia, 2018. En: *Wikipedia*. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil Blindado_\(civil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil Blindado_(civil)) [consulta abril 2018]
- [19] harddjjosu, 2010. En: *Forocoches*. Disponible en: <https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=1949180> [consulta marzo del 2018]
- [20] Anónimo. En: *Close focus research*. Disponible en: <http://closefocusresearch.com/underwriters-laboratory-ul752-ballistic-standards> [consulta abril 2018]
- [21] Anónimo, 2015. En: *Blindjaes.info*. Disponible en: <http://www.blindajes.info/nivelesdeblindaje.html> [consulta abril 2018]
- [22] Anónimo. En: *Nation wide structures*. Disponible en: <http://www.nationwidestructures.com/ballistic-key.html> [consulta abril 2018]
- [23] HARRIS, Tom. En: *How body armor works* Disponible en: <https://science.howstuffworks.com/body-armor.htm> [consulta abril 2018]
- [24] ELIAS, Jorge, 2013. En *Desarrolloydefensa.blogspot.com*. Disponible en: <http://desarrolloydefensa.blogspot.com.es/2013/02/equipamiento-militar-su-evolucion-desde.html> [consulta abril 2018]
- [25] Wikipedia, 2018. En *Wikipedia*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Kevlar> [consulta abril 2018]
- [26] Wikipedia, 2018. En *Wikipedia*. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Ranger_Body_Armor [consulta abril 2018]
- [27] REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA, 2018. En: *Rae.es*. Disponible en: <http://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=bal%C3%ADstico> [consulta abril 2018]
- [28] GUARDIA CIVIL, 2016. Introducción a la balística forense. Disponible en: Ciencias forenses II, Grado ingeniería de la seguridad. Aranjuez: Centro Universitario de la Guardia civil, en colaboración con Universidad Carlos III de Madrid. [consulta abril 2018]

- [29] ALARCÓN FLORES, Luis Alfredo 2018. En: *monografías.com*. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos32/balistica-forense/balistica-forense.shtml?monosearch> [consulta abril 2018]
- [30] Anónimo, 2018. En: *bevfitcett.us*. Disponible en: <https://www.bevfitcett.us/ballistics/ricochet-analysis-introduction.html> [consulta abril 2018]
- [31] VARAS DOVAL, David, 2015. Asignatura: *Elasticidad (Tema 3: Leyes de comportamiento)*, Ingeniería mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]
- [32] GORDO ODERIZ, Elena, 2017. Asignatura: *Tecnología de Materiales (Tema 3: Fundamentos del conformado por deformación plástica)*, Ingeniería Mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]
- [33] ZAHR VIÑUELA, Jorge Alonso, 2017. Asignatura: *Mecánica de Sólidos (Tema 1: Comportamiento mecánico de los materiales)*, Ingeniería Mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]
- [34] GORDO ODERIZ, Elena, 2017. Asignatura: *Tecnología de Materiales (Tema 7: Comportamiento en servicio: Fractura)*, Ingeniería Mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]
- [35] ZAHR VIÑUELA, Jorge Alonso, 2017. Asignatura: *Mecánica de Sólidos (Tema 3.1: Cuestiones previas)*, Ingeniería Mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]
- [36] ZAHR VIÑUELA, Jorge Alonso, 2017. Asignatura: *Mecánica de Sólidos (Tema 3.2: Criterios de plastificación)*, Ingeniería Mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]
- [37] DE LA CRUZ, J. *El método de Elementos Finitos en la Simulación de Procesos Mecanizados*. En: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70538/fichero/Cap%C3%ADulo3_El+M%C3%A9todo+de+los+Elementos+Finitos.pdf Sevilla: Universidad de Sevilla [consulta abril 2018]
- [38] SANCHEZ GÁLVEZ, V, 2008. *Tenacidad de Fractura dinámica*. En: SANCHEZ GÁLVEZ, V. *Anales de Mecánica de la Fractura 25, Vol 1*. Disponible en: http://oa.upm.es/2673/2/INVE_MEM_2008_57224.pdf [consulta abril 2018]
- [39] RODRIGUEZ-MILLÁN, Marcos, 2013. *ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO DE LA INFLUENCIA DEL ESTADO TENSIONAL EN LA DEFORMACIÓN DE FALLO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ALUMINIO*, Tesis. En *Propiedades del Aluminio (modelo de Johnson-Cook)*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=84807> [consulta febrero 2018]
- [40] VARAS DOVAL, David, 2015. Asignatura: *Elasticidad (Tema 9: Métodos de resolución II)*, Ingeniería mecánica. Leganés: Universidad Carlos III [consulta abril 2018]

- [41] Anónimo, 2017. En: *Wikispace*. Disponible en: <https://materiales.wikispaces.com/Estructuras+sandwich> [consulta abril 2018]
- [42] TURPIAL ITRIAGO, Juan Rafael, 1985. *Proceso Bayer*. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos14/proceso-bayer/proceso-bayer.shtml#PROCE> [consulta abril 2018]
- [43] PENAGOS MARTINEZ, Juan Manuel, 2008. *El Aluminio*. Disponible en: <https://es.slideshare.net/tomate1987/el-aluminio-presentation> [consulta abril 2018]
- [44] RODRIGUEZ-MILLÁN, Marcos, 2013. *ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO DE LA INFLUENCIA DEL ESTADO TENSIONAL EN LA DEFORMACIÓN DE FALLO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ALUMINIO*, Tesis. En Propiedades del Aluminio. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=84807> [consulta febrero 2018]
- [45] MARIANO, 2011. *Tecnología de los plásticos*. *blogspot.com*. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polycarbonato.html> [consulta abril 2018]
- [46] RODRIGUEZ-MILLÁN, Marcos, 2013. *ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y NUMÉRICO DE LA INFLUENCIA DEL ESTADO TENSIONAL EN LA DEFORMACIÓN DE FALLO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ALUMINIO*, Tesis. En Propiedades del Policarbonato. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=84807> [consulta febrero 2018]
- [47] ZAMBRANO SILVA, Yorman, 2015. *KEVLAR*. Disponible en: <https://es.slideshare.net/yormanzambrano/el-kevlar> [consulta abril 2018]
- [48] VALBRUNA MÉXICO. *Aceros inoxidables martensíticos*. Disponible en: <http://valbruna.com.mx/clasificacion-de-los-acero-inoxidables/aceros-inoxidables-martensiticos/> [consulta abril 2018]
- [49] BONET, Juan, 2014. *Aceros inoxidables austenítico vs. martensíticos*. Disponible en: <https://joanbonetm.wordpress.com/2014/08/29/acero-inoxidable-austenitico-vs-martensitico/> [consulta abril 2018]
- [50] *Tabla de unidades consistentes en ABAQUS*. Disponible en: http://www.cecalc.ula.ve/documentacion/tutoriales/abaqus/tabla_consistentes.pdf [consulta mayo 2018]
- [51] *Property search*. Disponible en: <http://www.matweb.com/search/PropertySearch.aspx> [consulta febrero 2018]
- [52] RODRIGUEZ-MILLÁN, Marcos, 2016. *ANÁLISIS NUMÉRICO DEL EFECTO DE LA PROTECCIÓN DE MANDÍBULA Y VISOR EN UN CASCO DE COMBATE ANTE CARGAS EXPLOSIVAS*, *Anales de Mecánica de la Fractura 33*. Leganés: Universidad Carlos III [consulta mayo 2018]
- [53] Indeed, *Sueldos en Ingeniero/a industrial en España 5 Agosto 2018*. Disponible en: <https://www.indeed.es/salaries/Ingeniero/a-industrial-Salaries?period=hourly> [consulta agosto 2018].

[54] tarifaluzhora, *Precio de la luz por horas*. Disponible en: <https://tarifaluzhora.es>
[consulta septiembre 2018]

ANEXO 1: PLIEGO ADQUISICIÓN CHALECOS ANTIBALAS



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA
Subdirección General de Logística
División Económica y Técnica
Unidad Técnica
Servicio de Armamento y Equipamiento Policial

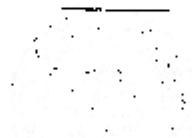
SAEP/STT/11/2017

Nº Expediente: 016/17/AR/01

Plataforma contratación del estado
- Busca Intrusos

PLIEGO PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA ADQUISICIÓN DE UN
MÍNIMO DE 1000 CHALECOS ANTIBALA, ANTICUCHILLO Y ANTIPUNZÓN
DE USO EXTERNO Y 600 PLACAS BALÍSTICAS.

(LOTE I)



(PROCEDIMIENTO ABIERTO)

Madrid, Marzo de 2017

CORREO ELECTRÓNICO
armamento.madrid@pnsa.es

1

Unidad Técnica de Logística, S.A.
28013 - MADRID
Teléfono: 914 822 026
Fax: 914 826 247



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA
Subdirección General de Logística
División Económica y Técnica
Servicio de Armamento y Equipamiento Policial

ÍNDICE

1. Objeto e importe de los bienes.....	3
2. Entrega de muestras y certificación aplicable.....	3
3. Descripción del chaleco antibala y placa balística.....	6
4. Nivel de protección.....	14
5. Ensayos.....	14
6. Datos técnicos del tejido.....	20
7. Etiquetado y marcado.....	20
8. Presentación de los chalecos antibala y placas balísticas.....	21
9. Pruebas de recepción.....	22
10. Lotes aceptados.....	24
11. Lotes rechazados.....	24
12. Plazo de entrega y garantía.....	24
13. Composición del Pliego.....	25
14. Diligencia.....	25



1. OBJETO E IMPORTE DE LOS BIENES.

1.1. Objeto.

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas, en adelante PPT, tiene por objeto establecer las características y reconocimientos a que habrán de someterse los chalecos antibalas, anticuchillo y antipunzón, de uso externo así como las placas balísticas (LOTE I), con destino a la Policía Nacional y establecer los reconocimientos y pruebas a que habrán de someterse, cuando sean presentados a Procedimiento Abierto o en su caso a recepción, así como, las bases de criterio para deducir, según los resultados, la valoración, aceptación o rechazo de los mismos.

1.2. Importe de los bienes.

El Lote I se compone de un mínimo 1.000 chalecos antibala, anticuchillo, antipunzón de uso externo; y un mínimo de 600 placas balísticas de las características definidas en este pliego. Por un importe máximo de licitación incluido impuestos de 709.302 €.

Si como consecuencia de la baja ofertada en el precio por la empresa que resulte adjudicataria, pudiera incrementarse el número de unidades, la Administración podrá solicitar el incremento del número de unidades a adquirir hasta la cifra del gasto máximo autorizado.

2. ENTREGA DE MUESTRAS Y CERTIFICACIÓN APLICABLE.

2.1. Muestras.

Los licitadores que participen en este Procedimiento, deberán presentar simultáneamente con la presentación de la oferta, las siguientes muestras:

2.1.1. Probetas:

- 12 probetas de 400 x 400 mm en su funda antihumedad.
- 4 probetas de 150 x 150 mm en su funda antihumedad.
- 2 panelas balísticas delanteros de conformación femenina.

2.1.2. Chaleco femenino:

- 1 Chaleco completo femenino de la talla S. No permitiéndose para su conformación, ningún tipo de corte, costura ni aumento de espesor.



2.1.3. Chaleco masculino:

- 1 Chaleco completo masculino de cada una de las siguientes tallas (M, L y XL).

2.1.4. Placa balística:

- 5 Placas balísticas.

Este conjunto de material será entregado debidamente precintado, en el Servicio de Armamento y Equipamiento Policial de la División Económica y Técnica, calle Julián González Segador s/n, 28043-Madrid, por cada modelo de chaleco ofertado, de cuya entrega se dará el oportuno recibo en el que constará fecha y hora de la misma.

Con dichas muestras, y por parte de Especialistas de Armamento de este Servicio, se efectuarán las pruebas de evaluación, en el laboratorio del Servicio de Armamento y Equipamiento Policial acorde a lo especificado en el punto 3 y en el punto 5 de este PPT.

Las muestras presentadas podrán ser retiradas por los licitadores una vez adjudicado definitivamente el concurso, siempre que éstas no se hubieran destruido o deteriorado, parcial o totalmente, como consecuencia de los ensayos efectuados; siendo por cuenta del licitador la destrucción, deterioros o menoscabos que éstas pudieran presentar.

2.2. Certificación

2.2.1. Los chalecos y las muestras que se presentan a Procedimiento Abierto se ajustarán y cumplirán, como mínimo, las exigencias de este Pliego, por lo que los ofertantes deberán aportar un INFORME o CERTIFICADO expedido por el Instituto Tecnológico A.TEX, u otro organismo de control notificado, adjuntando el protocolo de las pruebas, los resultados, la normativa aplicada y las observaciones pertinentes, ajustándose exclusivamente a los siguientes puntos:

- Requisitos de los tejidos que componen la funda antihumedad de los insertos balísticos. Los cuales son definidos en el **Punto 3.3 PPT**.
- Requisitos de los tejidos que componen la funda exterior del chaleco. Se precisan en el **Punto 3.4.1 PPT**.
- Nivel de protección: cuchilla S1/G según Norma NIJ 0115.00 y con una energía de impacto de 24 julios. Modelo de ensayo definido en el **Punto 5.2.4 PPT**.



- Nivel de protección Punzón según Norma HOSDB (2007) PARTE 3 con energía de impacto de 24 julios. Modelo de ensayo definido en el Punto 5.2.5 PPT.
- Serán resistentes al fuego y no comenzarán a carbonizarse antes de los 200°C.

El valor de la incertidumbre de medida (o grado de incertidumbre asociado a un determinado ensayo) que figure, en su caso, en los correspondientes informes o certificados presentados, se considerará subsumido en la tolerancia tanto genérica como específica, establecida en este Pliego.

2.2.2. Asimismo, las empresas licitadoras deberán presentar un CERTIFICADO expedido por el fabricante o fabricantes de las capas que componen el paquete balístico y su funda anhidruedad, definidos en el Punto 3 del PPT, en el que se haga constar la denominación y propiedades del material.

2.2.3. Autorización expresa al Servicio de Armamento y Equipamiento Policial, de la División Económica y Técnica, para realizar cuantas consultas se precisen y solicitar informes al organismo notificado, que haya realizado los certificados aportados.

El incumplimiento de cualesquiera de las condiciones, según los certificados anteriores o la no presentación, impedirá tomar parte en el presente Procedimiento, por considerarse dichos certificados como parte de la acreditación de la solvencia técnica definida en el artículo 77 del Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público (en adelante TRLCSP).

2.3. Memoria descriptiva y calificación de las muestras.

Junto con las muestras se hará igualmente entrega de una Memoria Descriptiva del chaleco, en la que se especificarán de forma pormenorizada todos sus componentes, cotas y características de los materiales utilizados en la fabricación de los mismos.

Igualmente, en aplicación del artículo 295 del TRLCSP, se deberá aportar los datos de ubicación del lugar de fabricación de los chalecos objeto del concurso.

Las muestras forman parte de la oferta técnica, por lo que su no presentación conllevará la exclusión del presente procedimiento, y tendrán la



calificación de APTAS o NO APTAS tras la evaluación de las características descritas en este Pliego.

Las declaradas APTAS serán valoradas según los Criterios Objetivos de Adjudicación mientras que las NO APTAS estarán excluidas del Procedimiento.

3. DESCRIPCIÓN DEL CHALECO ANTIBALA Y PLACA BALÍSTICA

3.1. Generalidades.

Las posibles referencias que puedan reseñarse en este PPT, relacionadas con marcas, patentes o tipos, o con orígenes o producciones determinados, deberán entenderse como las o "equivalentes", tal y como se refiere en el artículo 117.8 del Real Decreto Legislativo 3/2011 de 14 de noviembre por el que se aprueba el TRLCSP.

3.1.1. El chaleco de uso externo, con protección antibala, anticuchillo y antipunzón, con capacidad para incorporar placas balísticas que incrementen su nivel de protección, debe ser considerado como equipo de protección individual, si bien, están explícitamente excluidos del ámbito de aplicación del Real Decreto 773/1997 sobre "Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual" (véase apartado 4 del artículo 2 del mencionado Real Decreto), así como de la Directiva 89/686/CEE sobre comercialización de equipos de protección individual. No obstante, se han seguido las directrices de selección de equipos de trabajo que se indican en el artículo 8 del Real Decreto 2/2006, de 16 de enero, por el que se establecen normas sobre prevención de riesgos laborales en la actividad de los funcionarios del Cuerpo Nacional de Policía.

3.1.2. Deberá garantizar el nivel de protección definido en el apartado 4 de este Pliego, en sus respectivas superficies y estará construido exactamente igual que las probetas. Podrá disponer de antitrauma, que de existir, deberá de ser de material ligero y flexible, y de idéntica superficie que el paquete balístico. El chaleco, debe reunir ciertas cualidades de confort, especialmente en lo que se refiere a peso ligero, flexibilidad y acomodación al cuerpo, que permitan al



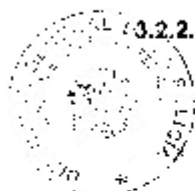
usuario portar el arma reglamentaria, encargarla y hacer fuego en las posiciones de pie y tendido, además de facilitar su utilización en vehículos y operaciones de armas a dos manos.

- 3.1.3. El adjudicatario estará obligado a suministrar chalecos tanto femeninos como masculinos de tallas especiales, cuando sea requerido a ello.
- 3.1.4. El Servicio de Armamento y Equipamiento Policial de la División Económica y Técnica se reserva el derecho de modificar el diseño del chaleco y/o la funda, si durante el periodo de vigencia del Contrato surgiera un nuevo material que con prestaciones balísticas superiores hiciera aconsejable su sustitución.

Así mismo se reserva el derecho de verificar, en las Fábricas del que resultase adjudicatario, el proceso de fabricación y/o montaje de los chalecos. (Artículo 295 TRLCSP), para lo que deberá informar, en la memoria aportada, del domicilio de la misma.

3.2. Especificaciones del paquete balístico.

- 3.2.1. El chaleco estará formado por un conjunto de láminas (capas) o paquete balístico, compuesto por capas de material balístico a base de fibras sintéticas de alta resistencia y tenacidad de base aramida e hidrofugadas debiendo el licitador presentar certificado que lo acredite en la forma descrita en el apartado 2.2.2 del PPT.



- 3.2.2. Todas las láminas o capas que constituyen el paquete balístico serán de una sola pieza, iguales en dimensiones y cada lámina llevará incorporada, de forma permanente e indeleble, por el fabricante (para el caso de tejidos del tipo unidireccional) o tejedor (para el caso de materiales tejidos) del material balístico, el tipo de material y número de lote al que pertenece lo que servirá para poder saber la procedencia y garantizar la trazabilidad de todo el material empleado, que podrá ser requerido al adjudicatario o participante en el procedimiento.
- 3.2.3. Las fibras que conformen el paquete balístico serán resistentes al calor y al frío y deberán mantener sus propiedades entre los -100°C y -30°C , como mínimo.



3.2.4. El paquete balístico con la funda antihumedad tendrá un espesor máximo de 5,5mm, valorándose positivamente la reducción que no suponga una merma de las prestaciones exigidas en este Pliego.

3.3. Especificaciones de la funda antihumedad de los insertos balísticos.

Las láminas (capas) o paquete balístico, deberán ir envueltos en una funda termosellada con protección contra la humedad y rayos ultravioletas, e impresión de la cara de impacto, con las características siguientes:

- Tejido 100% PA (poliamida)
- Peso Máximo $125 \text{ g/m}^2 \pm 5\%$ según UNE EN 12127:1998 PTO 8.3 (Textiles. Tejidos. Determinación de la masa por unidad de superficie de muestras pequeñas, masa laminar).
- Impermeabilidad: El tejido presentará una resistencia a la penetración de ($\text{cm/H}_2\text{O}$) de un mínimo de 2000 cm, según los métodos y ensayos de la UNE EN 20811:1993 (Textiles. Determinación de la resistencia a la penetración del agua. Ensayo bajo presión hidrostática ISO 811:1981).
- Resistencia mínima a la tracción: En aplicación de la UNE EN ISO 1421:1993. (ISO 1241:1993) (Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento en la rotura) El tejido acreditará la siguiente resistencia a la tracción:
 - Longitudinal: $700\text{N}/5\text{cm} \pm 10\%$
 - Transversal: $600\text{N}/5\text{cm} \pm 10\%$
 - Resistencia mínima a la tracción en un ancho 5 cm, de soldadura de 3 a 4mm. Superior a 300 N.

Este paquete balístico deberá llevar una etiqueta con la siguiente leyenda: "Cara de impactos", o similar, para su correcta colocación por parte del usuario.

3.4. Especificaciones y descripción de la funda exterior de los chalecos

3.4.1. Características de los tejidos que componen la funda exterior:

Cada chaleco se servirá con dos fundas (una de ellas de repuesto) de color azul policial, con las siguientes características:

Parte externa

- Composición Tejido en base aramida con antiestático.
- Peso $225 \text{ g/m}^2 \pm 5\%$
- Resistencia a la tracción longitudinal y transversal. El tejido acreditará, según UNE EN ISO 13934 1:2013. (Textiles. Propiedades de los tejidos



frente a la tracción. Parte 1: Determinación de la fuerza máxima y del alargamiento a la fuerza máxima por el método de la tira).

- Urdimbre (longitudinal) ≥ 1700 N
- Trama (transversal) > 1500 N
- Desgarro en urdimbre: El tejido presentará un valor ≥ 400 N según UNE-EN ISO 13937:2001 (Textiles. Propiedades de los tejidos frente al desgarro.)
- Desgarro en trama: se requiere un valor ≥ 400 N según UNE-EN ISO 13937:2001.
- Propagación limitada de llama: El tejido se someterá a los ensayos determinados en la UNE-EN ISO 15025:2003 o superior. (Ropa de protección, Protección contra el calor y las llamas, Método de ensayo para la propagación limitada de la llama)

Destrucción hasta bordes	No
Post-combustión	0 segundos
Post-incandescencia	0 segundos
Inflamación del papel filtro por los residuos desprendidos	No
Formación agujero	No

- Tejido antiestático. El tejido será antiestático según UNE-En 1149-3:2004. (Ropas de protección, Propiedades electrostáticas. Parte 3: Métodos de ensayo para determinar la disipación de la carga.

Parte interna

Composición: Viscosa FR/ Para- aramida / Poliamida/Modacrílico y antiestático.

- Peso: $200 \text{ g/m}^2 \pm 5\%$
- Resistencia a la rotura en urdimbre: El tejido presentará un valor de ≥ 950 N según UNE-EN ISO 13934-1:2013 (Textiles. Propiedades de los tejidos frente a la tracción, Parte 1: Determinación de la fuerza máxima y del alargamiento a la fuerza máxima por el método de la tira).
- Resistencia a la rotura en trama: El tejido obtendrá un valor ≥ 800 N según UNE-EN ISO 13934-1:2013.
- Desgarro en urdimbre: El tejido presentará un valor ≥ 32 N según UNE-EN ISO 13937:2001 (Textiles. Propiedades de los tejidos frente al desgarro.)
- Desgarro en trama: se requiere un valor ≥ 32 N según UNE-EN ISO 13937:2001.
- Propagación limitada de llama:
- El tejido será sometido a los ensayos determinados en la UNE-EN ISO 15025:2016. Procedimiento A.



- El material cumplirá un índice de propagación limitada a la llama de nivel 3. Tras cinco lavados domésticos a 40°C, 3/5H/40 según UNE EN ISO 14116:2015.
- Tejido Antiestático: el tejido que compone la parte interna de la funda será antiestático según UNE EN 1149-5:2008 (Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 5: Requisitos de comportamiento de material y diseño) y UNE EN 1149-3:2004 PTO 4.2. (Ropas de protección. Propiedades electrostáticas. Parte 3: Métodos de ensayo para determinar la disipación de la carga).

3.4.2. Descripción de la funda exterior.

La funda del chaleco presentará las correspondientes aberturas para alojo y extracción de los paquetes balísticos, debiendo ser éstas, de las máximas dimensiones posibles, para facilitar tales operaciones. Las aberturas se cerrarán con cinta tipo velcro a lo largo de toda su longitud.

- Bolsillos porta placas balísticas:

La funda presentará por su parte exterior, dos bolsillos con fuelle de 20 mm (uno en el pecho y otro en la espalda, para alojar placas balísticas adicionales) con unas dimensiones mínimas de 290x340 mm., cerrarán con cinta tipo velcro de 280 x 20 mm.

- Parte delantera:

Solapa delantera para conformar el cierre seguridad del bolsillo porta placas: a 30mm. del centro del escote y centrada respecto al bolsillo porta placas, se situará una solapa, de 140x 80mm que presentará en su interior una cinta de velcro parte pincho de 140x50mm. para el aseguramiento del cierre del bolsillo de la funda.

Esta solapa cerrará con la correspondiente cinta de velcro parte astrakan de 140x50mm. cosida en la parte exterior del bolsillo. Así mismo contará con una cinta de velcro tipo astrakan por su parte exterior de 140x50mm.

- Cintas tipo molle:

En la parte superior del bolsillo, en su parte externa llevará cosida una cinta tipo molle de 25mm a ambos lados, situada a 20mm del borde superior y con una longitud de 80mm.

Se incluirá el emblema del pecho establecido, conforme al diseño y características señaladas en la Orden INT/430/2014 de 10 de Marzo por la



que se complementa la regulación sobre distintivos en el Cuerpo Nacional de Policía, publicada en el BOE nº. 69 de 21 de Marzo de 2.014.

El emblema de pecho del Cuerpo Nacional de Policía, será el oficial centrado en la parte superior delantera derecha, por debajo de la cinta molle.

Para las divisas, se incluirá, conforme al diseño antes referido, una base de velcro, situada en la parte superior delantera izquierda, por debajo de la cinta molle, que permita su colocación.

- Parte trasera:

La parte trasera, a 25mm del centro del escote, presentará una solapa de la misma longitud que la anchura del bolsillo de placa, con una anchura de 110mm. Esta solapa en su parte interior contará con una cinta de velcro parte pincho de 50mm a todo lo largo del borde inferior de la misma, para el aseguramiento de cierre del bolsillo de la funda.

Este bolsillo cerrará con la correspondiente cinta de velcro parte astrakan de 50mm cosida en la parte exterior del bolsillo a 30mm del borde superior. Asimismo en esta solapa, por su parte exterior de 295x100mm se estampará en material reflectante blanco la inscripción "POLICIA" seguida de tres trazos con los colores de la bandera española en la tipografía empleada por la Policía Nacional

Por la cara exterior se colocará centrado de costado a costado sobre el bolsillo de la placa, un velcro de 270 mm. de ancho x 65 mm de alto situándola justo debajo de la solapa mencionada anteriormente.

- Ajuste superior o de hombros:

La parte delantera del chaleco contará con dos prolongaciones en la parte superior para su fijación a la parte trasera del chaleco. Dichas prolongaciones presentarán una cinta de velcro, parte astrakan de 180x50mm.

La parte trasera, tendrá dos prolongaciones en parte superior, para su fijación a la parte delantera del chaleco. Dichas prolongaciones presentarán en su parte interior una cinta de velcro, parte pincho, de 150x50.

- Ajuste al cuerpo del usuario:

La parte trasera del chaleco contará con dos prolongaciones de forma trapezoidal, confeccionadas en los tejidos propios de la misma, una de



ellas de 425mm de longitud llevando una tira de velcro tipo astrakán de 100 x 420mm, por su cara exterior, y otra de 310mm. de longitud, que cerrará con su correspondiente tira de velcro tipo pincho de 100 x 100mm, por su interior, que irá destinada a asegurarse sobre la parte delantera del usuario para la mejor acomodación al cuerpo.

• **Cintas de ajuste a la cintura:**

En la parte inferior del bolsillo de la placa de la espalda del chaleco, a ambos lados, se colocará una cinta de goma de 110mm de ancho por 210mm de longitud. En el extremo de dicha cinta irá cosida una solapa de forma trapezoidal, confeccionada en sus dos caras en el mismo tejido exterior de la funda. Dicha solapa presentará en la parte interior de la misma una cinta de velcro tipo pincho para el aseguramiento y cierre de la espalda al delantero, con un rebaje de 25mm. de la propia pieza de velcro en el extremo y de forma trapezoidal para aumentar el confort.

En la parte delantera del chaleco, por la cara exterior, a 70mm del borde inferior, se colocará, de costado a costado, un velcro de 100mm de ancho que servirá para el ajuste de ésta a la parte trasera.

El chaleco se ajustará al cuerpo del usuario mediante cintas colocadas en la parte trasera del mismo y posteriormente, hacerlo con la parte delantera.

Las medidas que se indican, corresponden a la talla M, debiendo ajustarse, el resto de tallas, a las cotas, medidas y superficies que se especifican en el presente PPT, exceptuando los bolsillos porta-placas que deberán tener las dimensiones indicadas, salvo en aquellas tallas que su superficie no lo permitan.

3.5. Características específicas.

3.5.1. Peso

Compatible con el grado de protección que se especifica, deberá ser el menor posible. El peso del panel balístico sin sus fundas protectoras, resultará de la proporcionalidad, entre éste y la superficie de protección del Chaleco, expresada en g/cm^2 , debiendo ser ésta $\leq 0,43 \text{ g}/\text{cm}^2$.

3.5.2. Tallas, porcentajes, superficie de protección y peso total del chaleco.

Los chalecos deberán cubrir pecho, espalda y costados sin causar molestias en cuello y axilas. Se servirán, en las tallas indicadas, y en



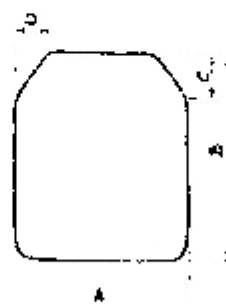
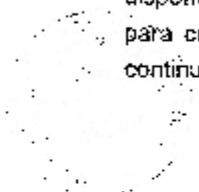
el porcentaje que se determine por el órgano de contratación, que lo comunicará a la adjudicatario, una vez firmado el contrato y con el tiempo suficiente de antelación, no superior al de una semana desde la firma, para acometer la fabricación.

La superficie de protección se adecuará a los valores de la siguiente tabla siendo el valor reflejado el mínimo en superficie, admitiendo una tolerancia hasta un 3 % superior, con los pesos máximos reflejados en la tabla.

Tallas	Pecho Superficie mínima cm ²	Espalda Superficie mínima cm ²	Superficie total valor mínimo cm ²	Peso máximo (gr.)
S	≥ 1.450	≥ 1.450	≥ 2.900	≤ 1.920
M	≥ 1.585	≥ 1.590	≥ 3.175	≤ 2.100
L	≥ 1.725	≥ 1.735	≥ 3.460	≤ 2.290
XL	≥ 1.868	≥ 1.882	≥ 3.750	≤ 2.400

3.6. Placa Balística

La placa tendrá una forma rectangular, carente de esquinas para lo cual todos los cantos estarán redondeados en su acabado. En su parte superior dispondrá de unos chaflanes para una mayor operatividad del funcionario, tanto para conducir y empujar el arma a dos manos según croquis que se refleja a continuación.





Las placas tendrán las dimensiones y pesos que se detallan en la siguiente tabla:

DIMENSIONES (mm)				Peso Máximo	Espesor Máximo
A	B	C	D		
240	295	60	40	2 Kg	25 mm

Las dimensiones que aparecen en el croquis de la figura se considerarán con una tolerancia asumible de $\pm 10\%$.

La placa será flexible para adaptarse mejor al cuerpo además de ir conformada con una pequeña curvatura que favorecerá el acople al usuario.

4. NIVEL DE PROTECCIÓN

- Protección del chaleco para los siguientes calibres, cuchillas y punzones.

4.1. Calibre .357 Magnum, bala semiblandada punta de plomo (SJSP), con un peso nominal de 10,2 gramos y velocidad inicial de 385 ± 15 m/s.

4.2. Calibre 9mm. Parabellum, bala blindada con envuelta de bimetal, de 8 gramos de peso nominal y velocidad inicial de 405 ± 10 m/s.

4.3. Cuchilla S1/G según Norma NIJ 0115.00 y con una energía de impacto de 24 julios.

4.4. Punzón según Norma HOSDB (2007) PARTE 3, con energía de impacto de 24 julios.

- Protección de la placa para los siguientes calibres.

4.5. Calibre 7 62x51, bala M80, velocidad inicial de 847 ± 9 m/s, empleando el arma adecuada.

4.6. Calibre 5 56x45, bala SS109, velocidad inicial de 885 ± 15 m/s, empleando el arma adecuada.

5. ENSAYOS

Las siguientes pruebas y ensayos, excepto los referidos a la penetración de cuchilla y punzón, serán realizados en el Laboratorio del Servicio de Armamento y Equipamiento Policial de la División Económica y Técnica, por los funcionarios adscritos al Grupo Técnico de Laboratorio.

La distancia de disparo de las pruebas descritas en este punto serán: de tres (3) metros para los canales balísticos y de quince (15) metros para las placas.



6.1. Elementos para las pruebas.

- Paralelepípedos metálicos para alojamiento de las probetas con cavidad rellena de plastilina Roma nº 1, a una temperatura de $21 \pm 2^\circ \text{C}$.
- Equipo de medición de velocidad. (DRELLO) y RADAR (EDH)
- Equipo de medición de temperatura. (CLIMATICA-CCI y HORNO-HERAEUS)
- Equipos de medición de profundidad. (CALIBRE-MITUTOYO)
- Equipo universal de ensayos. (IBERTEST)

5.2. Resistencia en condiciones normales. (temperatura $21 \pm 2^\circ \text{C}$)

5.2.1. Trauma Medio: Un Chaleco, parte de él o probeta, se adosará al paralelepípedo referido, de modo que quede en íntimo contacto con la plastilina, estando la superficie de ésta totalmente plana.

Se efectuarán cuatro disparos, dos con la munición especificada en el punto 4.1 y otros dos con la del 4.2 a $150 \text{ mm} \pm 10$. de los vértices de la probeta, en sus diagonales. Este ensayo se realizará sobre una misma probeta, para lo que se empleará una plantilla. Del resultado de esta prueba, se extraerá el trauma medio, que no deberá ser superior a 28 mm., el que de darse supondría la eliminación del chaleco.

5.2.2. Trauma Máximo: Sobre otra probeta se efectuará una prueba empleando la munición definida en el punto 4.2, consistente en cuatro disparos, en sus diagonales a $60 \pm 10 \text{ mm}$. de sus vértices. En la parte central de la probeta se efectuarán cuatro disparos, dos con la munición especificada en el punto 4.1, y otros dos con la del 4.2. en los vértices de un cuadrado de $70 \pm 10 \text{ mm}$. de lado.

5.2.3. Criterio:

No podrá producirse perforación alguna en ninguna de las pruebas descritas, ni trauma individual superior a 30mm., salvo en la prueba del disparo a 60mm. del borde de la probeta en la que no se tendrá en cuenta el trauma; un trauma superior a los definidos en cada caso o la perforación supondría la eliminación del chaleco.

La primera prueba descrita, de cumplir las condiciones expuestas, servirá para la determinación del trauma medio, no teniéndose en cuenta a este efecto el resto de las pruebas.



El número de capas del panel balístico (sin incluir fundas) que sean perforadas en la prueba del trauma medio será tenido en cuenta y deberá ser:

Menor o igual al 23 % del total de capas del chaleco o probeta, de ser superior supondría la eliminación del chaleco para la munición indicada en el punto 4.1

Menor o igual al 39 % del total de capas del chaleco o probeta, de ser superior supondría la eliminación del chaleco para la munición indicada en el punto 4.2.

Se calificará como capa perforada a cualquier impacto que cree un agujero u orificio en la lámina o capa del paquete balístico, contándose todas las capas que presenten dicha circunstancia. Esto puede ser evidenciado por la presencia, en la capa o lámina perforada, del proyectil, fragmento de proyectil o de un agujero u orificio.

Con los chalecos presentados, se efectuará una prueba de funcionalidad y confortabilidad, comprobándose que cumplen todo lo especificado.

El incumplimiento del espesor o características exigidas en el punto 3, será causa de eliminación de todos los chalecos.

5.2.4. Prueba con Cuchilla. (Certificado AITEX u Organismo Notificado)

Sobre un chaleco, parte de él o probeta se realizarán doce (12) impactos a 90º según método de ensayo con la cuchilla especificada en el punto 4.3, con una energía de 24 julios y con una penetración media máxima admisible de 15mm. en toda la serie, valorándose positivamente la reducción de la misma.

El incumplimiento de este requisito supondrá el rechazo del chaleco.

5.2.5. Prueba con punzón. (Certificado AITEX u Organismo Notificado)

Sobre un chaleco, parte de él o probeta, se realizarán (12) impactos a 90º según método de ensayo de la Norma HOSDB (2CD7) PARTE 3 y con el punzón indicado en el punto 4.4, con una energía de 24 julios y con una penetración media máxima admisible de 15mm en toda la serie, valorándose positivamente la reducción de la penetración.





5.2.6. Prueba perforación chaleco femenino.

Sobre una de las probetas o chaleco de conformación femenina, se realizarán, tres impactos con la munición especificada en el punto 4.2, en las zonas mas críticas de la conformación del busto. Siendo éstas, el punto central de las dos copas (si las hubiere) el punto más alto de la conformación y donde forme el máximo ángulo con el de incidencia.

Cualquier perforación supondrá el rechazo del chaleco.

5.2.7. Perforación placa:

Sobre una placa se efectuará una prueba consistente en tres impactos en un triángulo de 120mm de lado, un impacto con la munición especificada en el punto 4.5 y dos impactos con la munición y velocidad especificadas en el punto 4.6.

Criterio: No deberá de producirse perforación en ningún impacto.

5.3. Pruebas de humedad.

5.3.1. Estanquidad de la funda de los insertos balísticos.

Se introducirán tres probetas, por modelo de chaleco presentado, en agua, de manera que el nivel quede por encima de éstas, como mínimo 100 mm, manteniéndolas sumergidas durante 60 minutos, extrayéndolas a continuación y dejándolas escurrir por si mismas durante 2 minutos, realizándose posteriormente las pruebas especificadas en el punto 5.2.1 y 5.2.2.

Para los resultados de esta prueba, se tendrá en cuenta lo fijado en el punto 5.2.3.

5.3.2. Inmersión en agua y prueba de perforación.

1. Inmersión en agua

Se introducirá un chaleco, parte de el o probeta al que se le habrán quitado las fundas tanto exterior como protectora de humedad, o protecciones adicionales perimetrales que pudiera llevar el panel balístico, de cualquier tipo, de la forma de cinta adhesiva o similar si las tuviera, en un recipiente en las siguientes condiciones:

- | | | |
|----|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1. | Pesado de la probeta | Antes de sumergirla en el agua |
| 2. | Dimensiones del recipiente | 74,5 x 54,5 x 31,5 cm |
| 3. | Cantidad de agua en el recipiente | 15 cm de altura del nivel |



- | | | |
|----|---|-------------------------------|
| 4. | Temperatura del Agua | Ambiente |
| 5. | Bastidor metálico para evitar que flote | ≥ 1700 g, 4 puntos apoyo |
| 6. | Tiempo de inmersión de la probeta | 1 hora |
| 7. | Colgado con dos pinzas, escurriendo | 5 minutos, posición vertical |
| 8. | Pesado de la probeta | Después del escurrido |
| 9. | Cantidad de absorción de agua | ≤ 15 % |

El chaleco, parte de él o probeta deberá quedar en posición horizontal, completamente sumergido/a y adosado/a al fondo del recipiente; el bastidor metálico de 35 x 29 cm, apoyará en cuatro puntos del chaleco, parte de él o de la probeta, para evitar que floten los mismos.

Criterio: La diferencia del peso del chaleco, parte de él o probeta, entre el verificado antes de sumergirlo/a en el agua y después de haberlo/a dejado escurrir durante 5 minutos, no podrá ser superior al 15 %. En el caso de hallar una absorción de agua superior al 15 %, será causa de eliminación del chaleco.

2. Prueba de perforación.

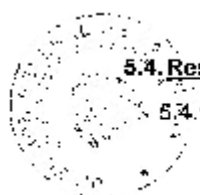
Una vez realizada la prueba anterior y antes de que transcurran 10 minutos, después del tiempo de escurrido, se realizará esta prueba de perforación consistente en lo siguiente:

Sobre el chaleco, parte de él o probeta, escurrido/a se realizarán dos disparos a 18 ± 2 cm de los vértices de la probeta y con la munición especificada en el punto 4.2.

Criterio: No se admitirá perforación en ninguno de los dos disparos, ni se tendrá en cuenta el trauma que pudiera producirse. El incumplimiento de este requisito supondría la eliminación del chaleco.

5.4. Resistencia a altas temperaturas.

- 5.4.1. Se introducirán tres probetas, por modelo de Chaleco presentado, en una cámara de calor a una temperatura de $60 \pm 2^\circ$ C, durante veinticuatro horas realizándose posteriormente las pruebas especificadas en el punto 5.2.1 y 5.2.2, no habiendo de transcurrir más de 5 minutos desde la extracción de las probetas de la cámara de calor hasta el inicio de la prueba.





Para los resultados de esta prueba, se tendrá en cuenta lo fijado en el punto 5.2.3, permitiéndose un aumento sobre el trauma y número de capas perforadas hasta en un 10%.

- 5.4.2. Se introducirán una placa, por modelo de presentado, en una cámara de calor en las mismas condiciones del apartado anterior, y posteriormente se realizará la prueba especificada en el punto 5.2.5, con el mismo criterio reflejado en él.

5.5. Resistencia a bajas temperaturas.

- 5.5.1. Se introducirán tres probetas, por modelo presentado, en una cámara de frío, a una temperatura de $-20 \pm 2^\circ \text{C}$, durante veinticuatro horas, realizándose posteriormente las pruebas especificadas en el punto 5.2.1 y 5.2.2, no habiendo de transcurrir más de 5 minutos desde la extracción de las probetas de la cámara de frío hasta el inicio de la prueba.

Para los resultados de esta prueba, se tendrá en cuenta lo fijado en el punto 5.2.3.

- 5.5.2. Se introducirán una placa, por modelo presentado, en una cámara de calor en las mismas condiciones del apartado anterior, y posteriormente se realizará la prueba especificada en el punto 5.2.5, con el mismo criterio reflejado en él.

5.6. Pruebas de flexibilidad.

5.6.1. Flexibilidad del Chaleco.

Con dos probetas de 150 x 150 mm, se efectuarán las pruebas de flexibilidad, para lo que se empleará el equipo universal de ensayos. Cada probeta será sometida a la compresión con el referido equipo, con una velocidad de compresión de 100 mm. por minuto, midiéndose la resistencia a los 15, 30 y 45mm., en ambos sentidos y a lo ancho y a lo alto, efectuándose de igual forma sobre sus diagonales.

Se calculará la media de las veinticuatro medidas resultantes, por probeta, no pudiendo ninguna de ellas dar un valor superior a 5 Newton ni ser la media superior a 3 Newton. El incumplimiento de la flexibilidad requerida supondrá el rechazo del chaleco.



6.6.2. Flexibilidad de la placa balística.

Con dos de las placas balísticas, se efectuará la prueba de flexibilidad, con el equipo anteriormente referido con una velocidad de compresión de 100 mm por minuto. Se realizará esta prueba en las mismas condiciones que el apartado anterior, realizándose solo dos medidas por placa, en sentidos perpendiculares y aplicando la fuerza sobre la cara interna de la misma. La placa deberá alcanzar una flexión de 45 milímetros sin que la fuerza media aplicada supere los 450N.

6. DATOS TÉCNICOS DEL TEJIDO

El licitador deberá aportar, en la Memoria Descriptiva, los datos técnicos correspondientes al tejido balístico presentado, así como, el proceso de hilado y confección del chaleco. El tejido deberá cumplir las especificaciones internacionales exigibles a chalecos antibalas de probada calidad, debiendo ser éstas de características similares o superiores a las del tejido de aramida. De igual manera, deberá aportar los datos técnicos correspondientes al tejido de la funda exterior, así como de la funda de los insertos balísticos.

Estas características facilitadas por el proveedor, mediante el correspondiente certificado, podrán ser comprobadas y comprobables, siendo éstas las mismas que habrán de tener los chalecos a suministrar.

7. ETIQUETADO Y MARCADO

El chaleco y la placa vendrán acompañados de un folleto informativo elaborado por el fabricante, en el que se contemplarán las instrucciones de almacenamiento, uso, limpieza y mantenimiento, así como la referencia al nivel de protección balístico y anticuchillo.

7.1. CHALECO

Cada chaleco deberá llevar en las dos fundas, claramente marcado de forma indeleble en su parte interior, en castellano, la siguiente información:

- Chaleco antibala de uso externo.
- Nivel de protección, indicando claramente la protección balística, anticuchillo y antipunzón.
- Año de fabricación: siglas CH, e indicación de vida útil garantizada por el fabricante



- Empleo adecuado, conservación del mismo, ajustes y almacenamiento.
- Método de limpieza, tanto de los paneles balísticos como del soporte.
- Número del chaleco.

7.2. PLACA BALÍSTICA

Cada placa balística deberá llevar en su cara interna, marcado de forma indeleble, en castellano la siguiente información:

- Placa balística y número.
- Nivel de protección, indicando claramente la protección balística.
- Año de fabricación: siglas CG. e indicación de vida útil.
- Empleo adecuado, conservación del mismo, ajustes y almacenamiento.

8. PRESENTACIÓN DE LOS CHALECOS ANTIBALA Y PLACAS BALÍSTICAS.

8.1. CHALECO ANTIBALA

8.1.1. Cada unidad entregada, estará compuesta por un chaleco completo y una funda de repuesto, que corresponderán a la talla del chaleco al que acompañen. El conjunto vendrá dentro de una bolsa de transporte textil de lona o similar, en color negro o el que se determine, con asas y de la forma del chaleco, para su posterior conservación y ésta, a su vez en un envase adecuado. Todos estos componentes, a excepción de la bolsa de transporte, llevarán el mismo número.

8.1.2. Cada grupo de cinco envases irá a su vez dentro de un empaque adecuado, que también llevará la indicación de los números de los chalecos que lo integran y año a que pertenecen, con el código anteriormente indicado, además de peso y volumen de éste y la indicación de ser chalecos antibala de uso externo.

8.1.3. Los conjuntos de empaques, serán entregados sobre palés.

8.2. PLACA BALÍSTICA

8.2.1. Cada 10 placas irán dentro de un empaque adecuado, que llevará la indicación del número de elementos que lo integran, el año de fabricación, peso y volumen de éste, así como la indicación de ser placas balísticas.

8.2.2. Los conjuntos de empaques, serán entregados sobre palés.



9. PRUEBAS DE RECEPCIÓN

La Empresa que resulta adjudicataria, cuando tenga el material preparado para su recepción y entrega, lo comunicará al Servicio de Armamento y Equipamiento Policial de la División Económica y Técnica, con tiempo suficiente y por escrito.

La recepción técnica de los chalecos tendrá lugar en la fábrica del adjudicatario o en lugar que se determine por el Servicio de Armamento, y la Comisión Receptora nombrada al efecto, podrá realizar o no, la totalidad de las pruebas incluidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas para lo que el adjudicatario pondrá a disposición de la misma los medios adecuados para la realización de las pruebas. En caso de no realizarlas, se considerarán válidas las efectuadas por la Fábrica.

A la finalización de las pruebas, la Comisión levantará Acta, en la que se reflejarán las realizadas y sus resultados, de conformidad o no, firmándose por los miembros de la misma, en la que se especificará la aceptación o rechazo del lote de los chalecos.

9.1. Lotes.

9.1.1. Se entiende por lote, el conjunto de elementos fabricados según las mismas especificaciones y objeto de un mismo contrato y orden de fabricación.

9.1.2. El lote estará constituido por el total de los chalecos antibala de uso externo a adquirir.

9.2. Toma de muestras y plan de muestreo.

Serán de aplicación en cuanto a la toma de muestras la Norma UNE-ISO 2859-1:2012, Nivel general de Inspección I, según plan de muestreo simple en inspección normal (tabla general).

9.3. Pruebas

9.3.1. Reconocimiento visual y dimensional

Cada uno de los elementos de la muestra, se reconocerá para observar si aparece alguno de los defectos siguientes:



CONCEPTO	N.C.A
- Superficie de protección diferente al nominal 3 %	0,65
- Peso superior al requerido	0,65
- Chaleco incompleto.....	0,65
- Chaleco con roturas	0,65
- Defecto de soldadura en funda de los insertos balísticos	0,65
- Falta de fundas de repuesto	2,50
- Sistema de cierre defectuoso.....	1,50
- Etiquetado defectuoso, borroso, incompleto o no existe.....	1,50
- Costuras defectuosas	1,50
- Existencia de manchas	2,50
- El color no es el determinado.....	0,65
- Confección defectuosa.....	1,50
- El material y confección funda exterior no es el requerido.....	0,65
- El material y resistencia de la soldadura de la envuelta de los insertos balísticos no es el requerido	0,65
Cualquier otro defecto que se pueda presentar, se catalogará por analogía con los anteriores.	

9.3.2. Prueba de funcionalidad

Esta prueba se efectuará llevando a cabo lo especificado en el punto 3 del presente Pliego.

9.3.3. Comprobación del material que constituye el Chaleco

El chaleco que haya superado las dos pruebas anteriores, será sometido a la comprobación de la totalidad de las características que el chaleco presentado como muestra.

Aceptación.- Se considerará superada esta prueba, si el chaleco cumple las características.

Rechazo.- No se considerará superada esta prueba y será rechazado el lote si el chaleco no cumple la totalidad de las características.

9.3.4. Otras comprobaciones

Optativamente, por la Comisión receptora nombrada al efecto, podrán realizarse alguna o algunas de las pruebas correspondientes a los puntos: 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6.



Aceptación.- Se considerará superada esta prueba si el chaleco cumple las condiciones exigidas en dichos puntos.

Rechazo.- Se considerará no superada esta prueba y rechazado el lote si no cumple con las condiciones de los referidos puntos.

9.3.5. Reconocimiento de envases y envases

Se comprobará que se cumple todo lo indicado en el apartado 8, rechazándose el lote en caso contrario.

10. LOTES ACEPTADOS

Los chalecos de uso externo y placas balísticas aceptados deberán ser entregados por la empresa adjudicataria en el Depósito del Servicio de Armamento y Equipamiento Policial de la División Económica y Técnica, sito en la Calle Julián González Segador, s/n, 28043 Madrid, una vez que haya sido repuesto, en su caso, el material que hubiera resultado deteriorado en las pruebas de evaluación; siendo por cuenta de dicha empresa tanto la reposición, como los gastos que pudieran derivarse de la mencionada entrega.

Se admitirán entregas parciales, previo acuerdo con el Servicio de Armamento, siendo el lote en tal caso, el total de la entrega parcial.

11. LOTES RECHAZADOS

En el caso de que se produzca el rechazo del lote, se podrá presentar el mismo una sola vez más a recepción, después de haber sido revisado el 100% por el adjudicatario, y corregido el defecto o defectos que originaron el rechazo; lo que será acreditado mediante el correspondiente certificado. Esta segunda recepción se efectuará obligatoriamente con la misma Norma pero en nivel general de inspección II, siendo la totalidad de los gastos que se produzcan, relativos a material, por cuenta exclusiva del adjudicatario.

12. PLAZO DE ENTREGA Y GARANTÍA

Los chalecos antibala de uso externo y placas balísticas deberán ser entregados en un plazo máximo de 3 meses desde la formalización del contrato, y en todo caso antes del 1 de Diciembre del año en curso.

Todo el material suministrado tendrá una garantía de dos años a contar desde la fecha de la recepción. Dicha garantía cubrirá contra todo defecto de fabricación y/o funcionamiento, obligándose el adjudicatario de la oferta a reparar por su cuenta cualquier defecto que en el periodo de garantía se presente y a la



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA
Subsección General de Logística
División de Armamento y Tiro
Unidad Técnica
Servicio de Armamento y Equipamiento de la Policía

reposición, sin cargo de las piezas defectuosas o inútiles, corriendo por su cuenta la mano de obra y el transporte. El fabricante garantizará la vida útil del chaleco por diez (10) años como mínimo, en condiciones normales de uso y almacenamiento.

13. COMPOSICIÓN DEL PLIEGO

Este Pliego de Prescripciones Técnicas, consta de veinticinco (25) páginas, y un ANEXO (Criterios Objetivos de Adjudicación), todas ellas numeradas y selladas de conformidad.

14. DILIGENCIA

Para hacer constar que este Pliego se somete a la aprobación del Órgano de Contratación según la normativa vigente.

PROPUESTO

EL JEFE DE LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y
TIRO

Fdº Fco. Javier RAMOS FERNÁNDEZ

Vº Bº

EL JEFE DEL SERVICIO



Fdº Miguel Ángel VARONA ARNAIZ

EL ADJUDICATARIO,

Fdº

D.N.I. nº

CORREO ELECTRÓNICO
presentacion@cop.es

25

Jefe de Gestión de Seguridad, S.A.
28045 - MADRID
Teléfono: 915 322 603
Fax: 915 322 647

ANEXO 2: PLIEGO ADQUISICIÓN VEHÍCULOS BLINDADOS



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE ADQUISICIÓN

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS QUE HA
DE REGIR EL EXPEDIENTE PARA EL SUMINISTRO
EN RÉGIMEN DE ARRENDAMIENTO (AÑOS 2018 A
2021) DE TURISMOS RADIOPATRULLA TIPO "Z",
CON DESTINO A LA DIRECCIÓN GENERAL DE LA
POLICÍA

RF.: AA/SV/17 RZ.I

MADRID, ENERO DE 2017



ÍNDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN**
- 2.- OBJETO PRINCIPAL DEL CONTRATO**
- 3.- RÉGIMEN ECONÓMICO – DISTRIBUCIONES CREDITICIAS**
- 4.- SEGURO Y MANTENIMIENTO**
- 5.- ENTREGA DE VEHÍCULOS**
- 6.- FACTURACIÓN**
- 7.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**
- 8.- TRANSFORMACIONES A REALIZAR**
- 9.- EQUIPAMIENTO ESPECÍFICO**
- 10.- EQUIPAMIENTO COMPLEMENTARIO**
- 11.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA**
- 12.- PRESENTACIÓN DEL PROTOTIPO**
- 13.- DOCUMENTACIÓN A ADJUNTAR Y GARANTÍA**
- ANEXOS I y II**



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTOMOCIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

El Área de Automoción de la División Económica y Técnica redacta este Pliego de Prescripciones Técnicas, al que han de ajustarse las empresas licitadoras en todos sus apartados, siendo el objeto del Contrato el suministro en régimen de arrendamiento de vehículos con sus correspondientes kits policiales de turismos radiopatrulla tipo "Z", con destino a la Dirección General de la Policía.

Los diferentes elementos y accesorios que integran los equipamientos policiales se denominarán, en adelante, kit para vehículos radio-patrulla tipo "Z".

Los vehículos base sobre los que se realizará la transformación y equipamiento objeto de este Pliego de Prescripciones Técnicas serán turismos de serie, de los comercializados al público.

2.- OBJETO PRINCIPAL DEL CONTRATO

El objeto del contrato lo constituye el suministro en régimen de arrendamiento de 334 vehículos, en un solo Lote, constituido por 167 turismos radiopatrulla tipo "Z" de motorización Diesel y por otros 167 turismos radiopatrulla tipo "Z" de motorización de Gasolina. Estos vehículos deben ser nuevos, en producción en el momento del Contrato, de una sola marca y modelo para cada una de las dos motorizaciones (se admite marcas y modelos diferentes para Diésel y Gasolina), con sus correspondientes kits policiales y kilometraje ilimitado, con destino a la Dirección General de la Policía. El plazo de ejecución será de cuarenta y ocho (48) meses, a contar desde el 1 de enero de 2018 o desde la fecha de formalización del Contrato, si ésta fuese posterior. El Contrato se podrá prorrogar de mutuo acuerdo por un plazo máximo de doce meses.

Los vehículos deberán cumplir las características técnicas que se especifican en los puntos 8 y siguientes, y estarán dotados del kit policial que se detalla en el presente Pliego.

Será requisito indispensable que la empresa adjudicataria oferte una red de asistencia técnica y de mantenimiento que preste cobertura en las poblaciones que se citan en el Anexo I de este pliego, pudiendo estar integrada por concesionarios oficiales de la marca respectiva y/o talleres expresamente concertados.



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTOMOCIÓN

A tal efecto, se deberá concretar dicha red de mantenimiento, indicando localidades, nombres, direcciones y teléfonos de los servicios de asistencia propuestos.

A título informativo los vehículos radiopatrullas tipo "L" recorren una media estimada de 27.000 kilómetros al año.

3.- RÉGIMEN ECONÓMICO Y DISTRIBUCIONES CREDITICIAS

La mejor oferta vendrá determinada sobre la base del importe límite de la reserva de crédito, fijándose éste en un máximo de **ONCE MILLONES DOSCIENTOS SETENTA MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS** (11.270.496 €), más el 21% de IVA que son **DOS MILLONES TRESCIENTOS SESENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS CUATRO EUROS CON DIECISÉIS CÉNTIMOS** (2.336.804,16 €) hace un total de **TRECE MILLONES SEISCIENTOS TREINTA Y SIETE MIL TRESCIENTOS EUROS CON DIECISÉIS CÉNTIMOS** (13.637.300,16 €), con cargo a los ejercicios presupuestarios de los años 2018, 2019, 2020 y 2021, aplicación presupuestaria 16.03.132A.204, con la siguiente distribución por ejercicio:

Año 2018: 3.409.325,04 euros

Año 2019: 3.409.325,04 euros

Año 2020: 3.409.325,04 euros

Año 2021: 3.409.325,04 euros

El importe máximo por vehículo será de 850,83 € / mes, impuestos incluidos.

4.- SEGURO Y MANTENIMIENTO

4.1.- Seguro

El seguro obligatorio de responsabilidad civil correrá a cargo de la Dirección General de la Policía.

4.2.- Mantenimiento y reparaciones

El mantenimiento se efectuará en todo el territorio nacional, en los servicios oficiales, y/o en talleres expresamente concertados, bajo la responsabilidad del adjudicatario.



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTOMOCIÓN

Serán de cuenta del adjudicatario el coste de todas las operaciones de mantenimiento, reparación o sustitución que se precisen, tanto de los elementos que integran los vehículos como los del kit policial, cualesquiera que fuesen las causas, garantizando su correcto estado de uso y funcionamiento, incluyendo los materiales y la mano de obra, es decir, a título enunciativo y no limitativo: cambio de aceites y filtros, de neumáticos, de pastillas de frenos, revisiones, etc.

Igualmente, correrán por cuenta del adjudicatario los gastos ocasionados por los desplazamientos en grúa de los vehículos inmovilizados por daños, avería o accidente, tanto desde el lugar de estacionamiento a dependencia policial, como desde ésta al taller reparador.

El consumo de combustible correrá a cargo de la Dirección General de la Policía.

Si como consecuencia de una avería o por accidente, una vez comunicada tal circunstancia al taller reparador, cualquier vehículo permaneciese fuera de servicio más de diez días naturales, el adjudicatario deberá facilitar de forma provisional otro vehículo de similares características equipado con el kit correspondiente, el cual será entregado de forma inmediata en las instalaciones de la Unidad al que pertenezca el vehículo a sustituir, siendo responsabilidad de la empresa adjudicataria la iniciativa de proceder a la sustitución del vehículo inmovilizado.

Si el accidente o la avería causara la imposibilidad de volver a prestar el servicio de un vehículo, la sustitución definitiva del mismo deberá realizarse dentro del plazo máximo de doce semanas a contar desde la fecha del accidente o avería, independientemente de la sustitución provisional referida en el párrafo anterior.

En el supuesto de que, en un futuro, no fuera posible realizar la sustitución con un vehículo igual, por haberse dejado de fabricar el modelo ofertado, el sustituto podrá ser de otra marca o modelo siempre que sea facturado al mismo o inferior precio y, como mínimo, cumpla los requisitos técnicos exigidos en el presente Pliego, cortando con la aprobación del Área de Automoción.



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTOMOCIÓN

Las averías o accidentes se repararán en un plazo no superior al establecido por las marcas respectivas para tales reparaciones según los cuadros de tiempo que deberá presentar el adjudicatario.

La mora en el plazo que determina la obligación de la sustitución de los vehículos inmovilizados, por daños, avería o accidente, supondrá la imposición de la penalidad de no satisfacción de la cuota correspondiente al vehículo (canon de mantenimiento más el precio del amiendo) por cada día de retraso en la sustitución.

A la finalización del contrato, los vehículos se recogerán por el adjudicatario en el estado y lugar en que se encuentran, comprometiéndose a la retirada de los diferentes elementos que forman parte del kit policial tales como adhesivos externos, puente luminoso, emisora, S.I.A., sirena y todo aquello que este relacionado con la equipación policial.

5.- ENTREGA DE VEHÍCULOS

Los vehículos se entregarán en los lugares que determine el Área de Automoción, levantándose la correspondiente Acta en el momento de la entrega. Los vehículos deberán entregarse en perfecto estado para su puesta en servicio, con la I.T.V. pasada, recogiendo la Ficha Técnica del vehículo las transformaciones realizadas en el mismo.

6.- FACTURACIÓN

La empresa adjudicataria facturará, a mes vencido, el servicio prestado en ese periodo de tiempo.

El pago correspondiente al mes de diciembre se abonará con cargo al ejercicio presupuestario siguiente.

7.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Toda empresa licitadora habrá de entregar con las ofertas, relación pomenorizada de las características técnicas de cada modelo de vehículo presentado, que incluya, al menos, todos los datos correspondientes a su homologación en el Ministerio de Industria. Las características técnicas comunes que deben poseer los vehículos que se presenten a la licitación son:



7.1 Motorización (Diesel y Gasolina)

- Potencia DIN igual o superior a 80 kw.

7.2.- Transmisión.

Caja de cambios de conducción automática o robotizada, con posibilidad de manejo secuencial, cualquiera que sea su principio técnico de funcionamiento o de su denominación comercial.

7.3.- Dirección.

- Asistida.

7.4.- Ruedas.

Las ruedas del vehículo serán las mismas que monte de serie, incluida la de repuesto. En ningún caso se admitirá kit antipinchazos en sustitución de la rueda de repuesto.

7.5.- Equipo eléctrico.

- Batería principal sin mantenimiento y como mínimo de 70 Amphora.
- Alternador electrónico con una intensidad superior a 80 A.
- Batería Secundaria (Especificaciones técnicas se recogen en el apartado 10.1)

7.6.- Climatización del vehículo.

- Los vehículos deberán disponer de climatizador.

7.7.- Dimensiones exteriores (mínimas y máximas inclusive).

- Longitud 4.320/4.550 mm.
- Altura 1.520/1.700 mm.
- Anchura 1.800/1.850 mm. (Sin incluir espejos retrovisores)

7.8.- Carrocería.

- Turismo de cinco puertas, tipo turismo o SUV.

7.9.- Seguridad.

- Airbag de conductor y acompañante, frontales y laterales equipados de serie.
- Sistema antibloqueo de frenos (ABS).



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
AREA DE AUTOMOCIÓN

- Sistema de control de estabilidad (ESP o equivalentes)

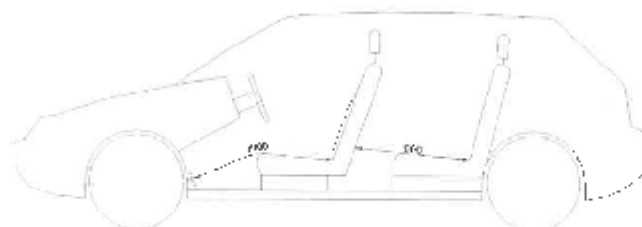
7.10.- Reparto de pesos.

Realizada la transformación, en ningún caso se podrá superar el peso máximo autorizado por eje, debiéndose mantener la carga al peso máximo autorizado.

7.11.- Medidas interiores.

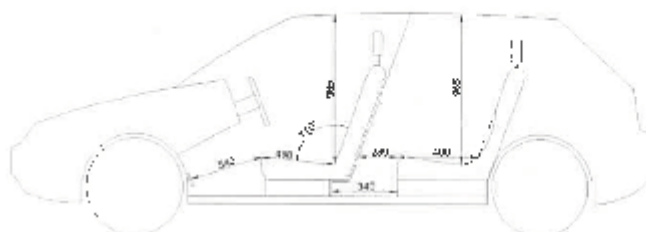
Serán, al menos, las que se especifican en los croquis adjuntos:

-Vehículo de serie, sin transformar. Espacio mínimo plazas traseras 660 mm.



El espacio mínimo longitudinal en las plazas traseras, medido con un espacio en las delanteras de 1.000 mm entre el centro del pedal del freno y el respaldo del asiento, deberá ser igual o superior a 660 mm.

-Vehículo transformado. Medidas mínimas en milímetros habitáculos delantero y trasero.



Las mediciones están tomadas con el respaldo a 110° con respecto a la horizontal, medido en la zona central del asiento.

7.12.- Faros antiniebla.

Vehículo equipado con faros antiniebla.

7.13.- Volante.

Volante regulable en altura.



7.14.- Espejos.

- Espejos retrovisores exteriores en ambos laterales con regulación eléctrica desde el interior.

7.15.- Elevalunas.

- Puertas laterales dotadas de elevalunas eléctricos.

7.16.- Asientos.

- Asiento del conductor regulable en altura.

7.17.- Cierre centralizado.

- Cierre centralizado de todas sus puertas con mando a distancia.

8.- TRANSFORMACIONES A REALIZAR

Las transformaciones y equipamiento de los vehículos radiopatrullas tipos "Z" comprenderán el blindaje de las zonas opacas de las puertas delanteras y zona de mampara que se detalla y los elementos específicos y complementarios que se especifican a continuación.

Para dicha transformación se tendrá en cuenta lo establecido en el R.D. 866/2010 de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.

8.1.- Protección balística.

8.1.1.- Áreas de blindaje.

Las áreas de blindaje comprenderán la protección de las zonas opacas de las puertas delanteras, contornos, solapes, cerraduras, adosado de espejos retrovisores y demás elementos de serie, así como, la mampara central y los reposacabezas (en su máxima altura) de los asientos delanteros.



8.1.2.- Nivel de Seguridad, pruebas y ensayos.

NIVEL DE BLINDAJE BR-2, BR-3 y SG2, SEGÚN NORMA ESPAÑOLA UNE 106.132

La protección de las áreas de blindaje contra agresiones balísticas externas, exige que los materiales que se utilicen y su instalación cumplan la normativa indicada y superen las pruebas que a continuación se indican con el objeto de determinar que los anclajes, solapes y cualquier unión de elementos, se mantengan firmes en su posición.

- El ensayo sobre el material montado en la puerta consistirá en realizar cuatro disparos consecutivos, sobre una misma zona de la puerta, con las siguientes condiciones:

NIVEL:	(BR-2) Calibre 9 mm parabeltun
Cartucho:	9 mm. BLINDADA ENVUELTA BIMETAL.
Peso:	8 g.
Núm. de disparos:	Rátaga de 4.
Distancia:	5 metros.
Velocidad:	405 ± 15 m/s.
Incidencia:	cero.
Agrupamiento:	Los 4 impactos estarán separados entre sí como mínimo 40 mm

Con el arma descrita anteriormente o con las siguientes:

NIVEL:	(BR-3) Calibre .357 Magnum
Cartucho:	.357 Magnum, bala semiblocada.
Peso:	9.7 g.
Núm. de disparos:	4
Distancia:	5 metros
Velocidad:	390 ± 10 m/s
Incidencia:	cero
Agrupamiento:	3 disparos a 120 ± 10 mm y 1 a 40 ± 10

NIVEL:	(SG-2) Calibre 12/70.357 Magnum
Cartucho:	9 postas.
Peso:	35 g
Núm. de disparos:	3



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN TÉCNICA Y TECNICA
DE LAS FUERZAS DE LA LEY

Distancia: 4 metros
Velocidad: 390 ± 10 m/s
Incidencia: cara
Agrupamiento: Dentro de un círculo de \varnothing 200 mm.

Estas pruebas se podrán repetir tantas veces como se estime oportuno, en las distintas zonas que se consideren críticas en el montaje, no pudiendo ser la distancia entre las zonas de impacto, inferior a 100 mm.

8.1.3.- Materiales a utilizar.

Las áreas de blindaje se compondrán de un material (chapa de acero, fibra u otro compuesto), en espesor y calidades adecuados al nivel balístico exigido.

Los materiales utilizados deberán estar tratados o protegidos convenientemente contra agresiones de agentes corrosivos o de la humedad, para evitar la eventual degradación de sus propiedades.

8.1.4.- Instalación del blindaje.

Las características que debe reunir la instalación del blindaje serán las siguientes:

- El material de blindaje se acoplará de tal forma que, quedando convenientemente fijado, pueda ser fácilmente desmontado en caso de reparación del vehículo. Se evitará la producción de ruidos con las vibraciones del vehículo, así como el abrir o cerrar las puertas.
- Se diseñará el blindaje de forma que constituya un número reducido de piezas.
- No dificultará el correcto funcionamiento de los sistemas de apertura y cierre de las puertas, de los mecanismos de valunas, del espejo retrovisor, o de cualquier otro dispositivo que monte en las dos puertas delanteras el fabricante de los vehículos en los modelos de serie.
- Se tenderá a que el peso de cada puerta una vez blindada sea el menor posible. Se deberá indicar el peso de la puerta, antes y después del blindaje.



- No impedirá ni dificultará la audición normal de los altavoces, en aquellos modelos que los lleven acoplados en las puertas.

- En el caso de ser necesarias uniones entre piezas de protección balística, dichas uniones se realizarán solapándose entre ellas, mediante su fijación con tornillos, remaches o puntos de soldadura, teniendo muy en cuenta que en este último caso la aportación de calor no debilitará las propiedades del material.

- En el caso de ser necesario, se reforzará el sistema de anclajes de las puertas delanteras de los vehículos, para evitar que el peso adicional del material de blindaje pueda causar desgastes en las mismas.

- En el canto de cada puerta recubierta con material antibala se pintará de color verde un tornillo, o se añadirá un anagrama que indique de forma visible la condición de puerta blindada a los funcionarios que utilicen los citados vehículos.

8.1.5.-Pruebas.

Para la realización por Técnicos de Armamento de la Dirección General de la Policía, de las pruebas balísticas que se detallan en el epígrafe 9.1.2., la empresa suministradora de los vehículos está obligada a presentar, con carácter previo al blindaje de las unidades, dos probetas de 500 x 500 mm. y una puerta montada, dotada del material de blindaje idéntico al que se instalará en los vehículos, quedando en depósito hasta la finalización de contrato.

Una vez finalizada la transformación de los vehículos que compongan la totalidad del suministro, los técnicos de la Dirección General de la Policía, podrán realizar, de forma aleatoria y según su criterio, en una de las puertas delanteras de los modelos a adquirir, como mínimo, y en un 2% como máximo de los vehículos, las pruebas balísticas citadas.

En el caso de que el material de blindaje no superase dichas pruebas, la empresa adjudicataria sustituirá el material instalado por otro de mayor protección, sin variación de coste.

Independientemente de los ensayos anteriores, se realizarán igualmente, de forma aleatoria, comprobaciones visuales y verificaciones prácticas en el número de vehículos que se estime necesario, desmontándose paneles de puertas, sistemas elevaluas, u otros



elementos que faciliten el examen minucioso de las piezas de blindaje y del sistema de uniones y fijaciones de las mismas.

8.2.- Mampara de separación de habitáculos

La mampara de separación de plazas delanteras y traseras, constará de:

- Estructura de fijación realizada en tubo de acero, unida al vehículo con un número de puntos suficientes, utilizando para ello tornillería tipo Torx o Allen. En el caso de que la fijación se realice mediante la instalación de pletines, estarán situadas en la zona delantera del vehículo, para evitar su manipulación desde el habitáculo de detenidos.
- La parte superior fabricada en poli-carbonato transparente de alta resistencia, será como mínimo de 4 mm. de espesor y cubrirá el hueco existente entre los pilares centrales, el techo y la parte superior de los respaldos de los asientos delanteros. Se instalarán dos soportes de anclajes en color para la colocación y el uso de los enganches de los cinturones de seguridad traseros.
- La parte inferior cubriendo la zona de los respaldos, hasta el suelo, se realizará con fibra, plástico o material similar que se integre con la bandeja del suelo, asientos y paneles de las puertas.
- Esta zona central de la mampara, deberá incorporar un blindaje, cuyas características se describen en el apartado 9.2.1. Dado que la mampara provoca una separación entre los habitáculos delantero y trasero, deberá instalarse un sistema forzado de recirculación de aire en el habitáculo de detenidos, en el caso de no existir salidas de aire traseras.
- El ajuste y fijación de la mampara al interior del vehículo, debe imposibilitar totalmente la introducción de ningún objeto al habitáculo delantero.
- El diseño y formato de la mampara debe restar el mínimo espacio posible entre los dos habitáculos, y deberá de ser conformada, con un buen acabado y con un color que se integre perfectamente con las dos zonas del vehículo. Se contemplarán soluciones que permitan la comunicación hablada y la circulación de aire entre los dos habitáculos.



MINISTERIO
DEL INTERIOR



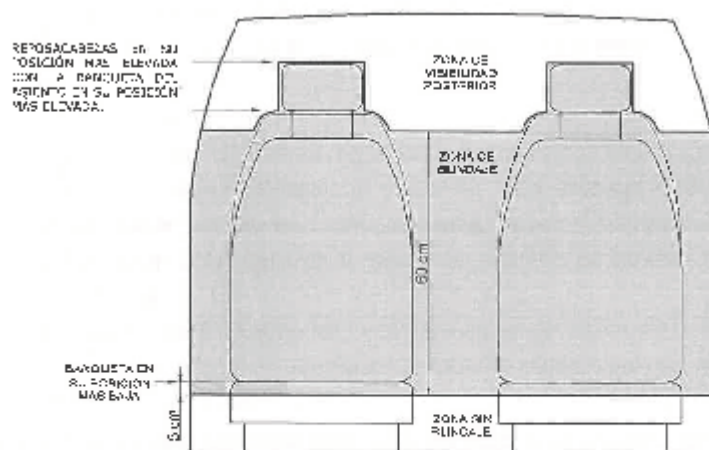
DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

Tecnología Económica y Técnica
ÁREA DE AUTOMÓVILES

Ninguna de las partes que conforman la mampara podrá poseer aristas cortantes, ni elementos metálicos situados en su parte posterior, que puedan ocasionar lesiones en condiciones normales de uso del vehículo, o ser producidas voluntariamente por los detenidos.

8.2.1.- Blindaje de la mampara de separación.

Para proteger al conductor y acompañante de posibles agresiones balísticas, procedentes de la parte trasera del vehículo, se deberá disponer de una protección que cubra completamente los asientos delanteros, desde una altura de 5 cm. por debajo de la zona superior de la banqueta con los asientos delanteros en su posición inferior, hasta la altura de los respaldos de los mismos, en su posición más elevada, cubriendo además la zona del cuello y de los reposacabezas, en su posición de máxima altura (con el asiento en su posición más elevada). Dicha protección deberá cubrir los huecos existentes, entre los dos respaldos de los asientos delanteros, y entre cada uno de estos y los pilares laterales del habitáculo, a lo largo de toda la altura del respaldo, tal y como se muestra en el croquis orientativo que se detalla a continuación:



La protección deberá presentar una fijación sólida a la propia estructura de la mampara y al material que integre la parte inferior de la misma, de forma que todo el conjunto presente



una gran solidez, que incremente a resistencia del conjunto, evitando posibles ruidos y vibraciones. Dicha protección estará fabricada en acero o material compuesto con las características de blindaje que se indican en el apartado 9.1.2, y 9.1.3., con el mismo nivel balístico que el utilizado para las puertas, pudiéndose realizar los mismos ensayos balísticos, que los especificados para las mismas.

Si dicha mampara consta de dos o más piezas, las uniones se realizarán mediante tomillería tipo Allen o Torx.

El blindaje descrito deberá cubrir de forma integral la zona indicada, permitiendo la visión del habitáculo trasero a través del retrovisor ubicado a tal efecto.

8.3.- Lunas.

8.3.1.- Oscurecimientos de las lunas:

Excepto el parabrisas, las lunas del habitáculo delantero de puertas y laterales, deben estar oscurecidas en su totalidad, sin efecto espejo, con un film debidamente homologado y con un nivel de transmisión lumínica del 50%.

Las lunas correspondientes a ambos laterales del habitáculo posterior así como la luna trasera, deben de estar oscurecidas en su totalidad, sin efecto espejo, con un film debidamente homologado y con un nivel de transmisión lumínica del 35 %.

8.3.2.- Protección antivandálica de las lunas:

Las lunas correspondientes a ambos laterales, tanto del habitáculo delantero como del habitáculo de detenidos, deben estar protegidas mediante una lámina o film de protección antivandálica debidamente homologada, que cumpla con las siguientes características técnicas:

- Que conserve las características ópticas del cristal original excepto el nivel de transmisión lumínica.
- El film antivandálico se aplicará a la totalidad del cristal y será de un espesor de doscientas cincuenta micras como mínimo, sin incluir la lámina de oscurecimiento.



- El valor de resistencia, se corresponderá con la clasificación P2A según norma EN 356 sobre vidrio templado.

- El film deberá ir marcado con máquina de chorro de arena o adhesivos, con la marca de la casa suministradora-instaladora, según contempla la legislación vigente.

- Se requerirá certificado de homologación expedido por laboratorio u organismo oficialmente reconocido, del cumplimiento de la resistencia exigida; así como de las probetas necesarias para su comprobación por Técnicos del Área de Automoción.

- Todas las láminas o film de protección y de oscurecimiento, deberán adherirse sobre la cara interior de los cristales del vehículo.

8.4.- Habitáculo trasero

8.4.1.- Suelo

El suelo será conformado en material plástico e integrado con el asiento y resto de la carrocería y que haciendo de "bandeja" permita la limpieza de este habitáculo de forma sencilla; deberá ser estanco respecto de las plazas delanteras y en todos sus extremos.

Dispondrá de un sistema de desagüe con rejilla y sifón, para evitar la introducción de objetos.

8.4.2.- Asientos traseros

Asiento trasero conformado, fabricado en fibra, material plástico o similar de fácil limpieza, que evite la captación de olores y la ocultación de objetos. El respaldo del asiento trasero dispondrá de, al menos, dos apoyacabezas, de forma que permitan a los detenidos el apoyo total de la espalda, aún en el caso de ir éstos con las manos esposadas a la espalda.

Los asientos traseros, dispondrán de cinturones de seguridad con tres puntos de anclaje, recogidos en la parte superior central del asiento posterior y enclavándose en los laterales. La apertura del cinturón no será posible con las puertas cerradas. Dispondrá, de un sistema de bloqueo de los cinturones, que impida su extensión, controlado desde el habitáculo delantero.



En la base de la banqueta de los asientos se instalará un sistema de desagüe que evite el estancamiento de líquidos e impida la introducción de objetos en el mismo.

La estructura de estos asientos estará dotada de un registro que permita pasar cableado eléctrico y conectores, del maítero al habitáculo de policías y viceversa, sin necesidad de tener que desmontar elementos del habitáculo de detenidos, siendo las dimensiones de este registro, como mínimo de 100 x 80 mm.

8.4.3.- Puertas traseras

Los paneles de las puertas traseras serán de una sola pieza y sin rugosidad en su superficie, ni elementos de maniobra (manilla de apertura, elevallunas), de un material fácilmente lavable, fibra, plástico o similar, preferiblemente ABS termo conformado.

Las puertas traseras en ningún caso podrán ser abiertas desde el interior del habitáculo trasero.

8.4.4.- Asideros.

Siempre que no sea incompatible con elementos de seguridad de serie de los vehículos, se colocará un asidero en el lateral derecho del habitáculo delantero con una resistencia de al menos 800N en tracción.

8.4.5.- Sistema de bloqueo / desbloqueo de puertas traseras.

Electromecánico: dispositivo conectado al cierre de las puertas traseras, que permita el bloqueo / desbloqueo de las mismas, e impida su apertura desde el exterior del vehículo. El interruptor de funcionamiento se situará en la consola de mando del kit policial, y deberá disponer de un indicador óptico del estado en que se encuentren las puertas traseras (bloqueadas o no bloqueadas).

Mecánico: el vehículo estará dotado de un dispositivo mecánico de apertura de emergencia de las puertas de habitáculo de detenidos. Este dispositivo será exclusivamente mecánico y permitirá la apertura de las puertas traseras en caso de fallo del sistema eléctrico del vehículo, fallo del sistema eléctrico de control del kit policial o fallo de la batería, independientemente del estado del cierre centralizado o cierre de seguridad para niños u otros. Dicho sistema se rearmará automáticamente, una vez utilizado.



Este sistema dispondrá de un punto de accionamiento para cada puerta trasera, mediante un mecanismo de palanca, que se alojará en la zona de habitáculo del conductor y acompañante, en el piso del vehículo, en un lugar fácilmente accesible, protegido y discreto, evitando su fácil identificación desde el exterior del vehículo cuando se encuentren las puertas delanteras abiertas.

Sobre los puntos de accionamiento solo se requerirá una sola mano para actuar sobre el mismo y de forma rápida, con una presión o fuerza de acción total no menor de 40 N. y no superior a 120 N. pudiendo ser ejercida desde el asiento del conductor, desde el asiento del acompañante o desde el exterior del vehículo a través de las ventanillas delanteras encontrándose éstas bajadas.

8.4.6.- Interruptores de elevabarras de puertas traseras.

Los interruptores de subida y bajada de los cristales de las puertas traseras, estarán situados únicamente en el habitáculo delantero, diferenciados y separados de los delanteros.

8.4.7.- Luz habitáculo de detenidos

El dispositivo consistirá en un sistema de iluminación efectivo, que permita observar con claridad a sus ocupantes desde el asiento del conductor y acompañante a través de los retrovisores interiores, que ilumine los asientos y piso del habitáculo de detenidos.

La tecnología de iluminación utilizada será de Led, de color blanco, siendo el haz de luz homogéneo.

Este dispositivo estará protegido por un encapsulado que impida su manipulación por el detenido, con resistencia antivandálica y no presentará aristas o salientes con los que se puedan producir lesiones los ocupantes del habitáculo de detenidos.

8.5.- Mampara posterior

Se procederá a proteger la zona posterior del habitáculo de detenidos de posibles agresiones exteriores, así como impedir la fuga de los detenidos, mediante una lámina de policarbonato de 4 mm de espesor, que cubra la superficie delimitada por la bandeja posterior y el techo del vehículo, la cual deberá estar sujeta debidamente en las partes



laterales, superior e inferior, y en el caso de que los cinturones de los dotados atraviesen dicha mampara deberán llevar una protección para evitar el roce de los mismos (labio de poliuretano o similar).

Esta protección presentará un acabado en el que se eviten aristas cortantes y huecos en todo su contorno y ranuras, que imposibilite la introducción u ocultación de objetos. Esta protección tendrá una configuración que realice la función de seguridad pasiva de los reposacabezas para lo cual deberán contemplarse las distancias entre reposacabezas y resto del asiento acordes con la normativa actual.

8.6.- Identificación policial de la carrocería

A continuación se describen las características técnicas de la carrocería, estando obligada la Dirección General de la Policía a entregar a la empresa adjudicataria la descripción exhaustiva de dichas características técnicas en el plazo de cinco días a partir de la firma del contrato. Los vehículos presentarán la imagen corporativa que se recoge en el anexo II (cualquier variación se podrá determinar en la presentación del prototipo).

8.6.1.- Pintura

Los colores utilizados en la identificación policial, son el azul y el blanco, con las siguientes coordenadas cromáticas:

- Color azul:

X = 5,52

Y = 5,70

Z = 8,72

x = 0,27

y = 0,288

Valores del reflectómetro:

Clase de luz: C

Observador: 2 grados

RX = 5,1980

RY = 5,5780

RZ = 7,4831

- Color blanco:

X = 71,78

Y = 74,59

Z = 60,08

x = 0,3170

y = 0,3294



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTOMOCIÓN

-Valores del reflectómetro:

Clase de luz: C

Observador: 2 grados

RX = 74,9648

RY = 74,9170

RZ = 80,1864

8.6.2.- Decoración del vehículo

La imagen corporativa se adaptará, en función de la marca y modelo adjudicado, por lo que, los detalles de la decoración se acordarán, en reunión previa que se realizará para determinar el vehículo prototipo previsto en el apartado 13 (Presentación del prototipo) de este pliego.

Se admitirán propuestas de sustitución de pintura por vinilo en la presentación del prototipo, las cuales deberán ser examinadas por Técnicos del Área de Automoción, quienes elaborarán el correspondiente informe de idoneidad previo a su autorización. En caso de ser admitido el cambio, deberán cumplir las características técnicas en cuanto a homologación y degradación de materiales especificadas para los adhesivos en el apartado 9.6.3., relativo a "exposición exterior".

Los anagramas corporativos (escudo y bandera) se colocarán en su caso con una inclinación, con respecto a la vertical de 30°, y la tipografía, tamaño y color de las letras y números (techo y laterales) así como su ubicación, se determinarán en la presentación del prototipo.

Los colores de la pintura han de cumplir las características que se indican en el punto anterior.

8.6.3.- Adhesivos

Adhesivos reflectantes.

Con carácter general los adhesivos reflectantes deberán cumplir los siguientes requisitos:

Estarán formados por una lámina con un adhesivo sensible a la presión, que permita su deslizamiento sobre una superficie de chapa a 22° C, sin que produzca la adhesión definitiva hasta que no se efectúe una firme presión sobre la misma.



Especificaciones colorimétricas y fotométricas.

Las medidas colorimétricas se harán de acuerdo con el Documento CIE nº 15 (1971) utilizando el iluminante D65 en geometría 45°/0°. El color del material reflectante deberá encontrarse dentro del polígono definido por las coordenadas indicadas en la tabla. El factor de luminancia será mayor del indicado.

Coordenadas cromáticas					
Color	1	2	3	4	Factor de luminancia B
Amarillo	X	0.522	0.470	0.427	≥ 0.27
	Y	0.477	0.440	0.483	
Rojo	X	0.735	0.674	0.569	≥ 0.05
	Y	0.265	0.236	0.341	

Los valores de retrorreflexión se medirán usando el iluminante A de la CIE de acuerdo con el Documento CIE nº 54 (1982). Los valores del coeficiente de retrorreflexión R' del material reflectante deberán ser mayores a los indicados en la tabla. En el caso de los colores amarillo y rojo, aplicados por serigrafía, se admitirá como mínimo el 70% de los valores de la tabla.

Valores mínimos del coeficiente de retrorreflexión R' ($\text{cd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$)			
Ángulo Observación α (°)	Ángulo Incidencia $B_{(45)} = 0$	Amarillo	Rojo
0.2	5/30/40	50/22/7	14,5/6/2
0.33	5/30/40	35/16/6	10/4/1,8
2.0	5/30/40	3/1,5/1,0	1/0,5/0,5



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTORIZACIÓN

Marca de seguridad.

La lámina reflectante llevará incorporado el escudo del Cuerpo Nacional de Policía en un tamaño de 8 x 8 mm., repetido según una trama cuyo patrón o celdilla unitaria sería un cuadrado de 90 mm. de lado.

El citado escudo, impreso de forma retrorreflexiva (visible con luz coaxial), sobre la capa metalizada que existe bajo las microesferas y no podrá ser borrado, manipulado o falsificado por medio alguno sin que se afecte o destruya el poder reflectante del material.

Igualmente, los escudos solo serán visibles en la dirección de observación de 0° respecto de la normal a la superficie del material.

Adhesivos pigmentados.

Con carácter general los adhesivos pigmentados deberán cumplir los siguientes requisitos:

Estarán formados por una lámina de vinilo pigmentada, con un espesor incluido el adhesivo, entre 0,07 y 0,1 mm. Esta lámina estará revestida con un adhesivo sensible a la presión que permita su aplicación a 4°C de temperatura, sobre superficies planas o cóncavas y superficies curvas. El adhesivo irá protegido con un papel soporte, fácilmente eliminable.

Adhesión.

Deberán permanecer adheridos con seguridad aunque se sometan a temperaturas extremas de -40° C y 95°C, y no se romperán, saltarán o pelarán por sí mismos.

Los valores mínimos de adhesión, medidos según método de prueba FTM 1, serán de 25 N., cuando se mide sobre sustrato de aluminio decapado o anodizado, previamente tratado según queda especificado en la normativa, con unas tiras de material de 25 mm. de ancho.

Especificaciones colorimétricas.

Las especificaciones colorimétricas, se obtendrán de acuerdo con las especificaciones de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE). Los valores de estas coordenadas quedan resumidos en la siguiente tabla:



Color	L*	a*	b*
Azul	40,86	-1,50	-15,70
Amarillo	81,57	14,91	110,73
Oro	50,72	5,29	30,85

Elongación y resistencia a agentes químicos.

Este material tendrá una elongación mínima del 50 % según la Norma ISO 1184-1983, que le permitirá adaptarse a superficies irregulares.

Las láminas no encogerán más de 0,4 mm. cuando se sometan a ciclos de temperatura variable, según se especifica en la prueba de estabilidad dimensional FTM 14.

Será resistente a los agentes químicos a $24^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ de acuerdo con las pruebas y agentes especificados a continuación, tras las cuales no se apreciará efecto en su crecimiento.

Las muestras ensayadas estarán constituidas por piezas de 100 x 100 mm., laminadas con, al menos, una semana de antelación sobre aluminio desengrasado.

Agente	Tiempo de exposición
Disolución al 50 % de Glicol- etileno / Agua	24 horas.
Aceite lubricante SAE 20	24 horas
Disolución al 85 % alcoholes minerales y 15 % Xilol	10 minutos
Alcohol metílico	10 minutos
Hidróxido amónico al 10%	10 minutos

Exposición exterior

Las láminas permanecerán en buen estado, sin deterioros apreciables tales como agrietamiento, formación de escamas, decoloración excesiva, deslaminación o pérdida de adherencia durante, al menos seis años.



9.- EQUIPAMIENTO ESPECÍFICO

9.1.- Sistema de alimentación

Se dotará al vehículo de una batería auxiliar, para el suministro eléctrico de todo el equipamiento específico, con las siguientes características: batería auxiliar, independiente de la de servicio del vehículo, ésta será de ciclo profundo de tipo AGM de 12V y con un mínimo de 75 Ah. El proceso de carga se realizará a través de un sistema que cuando la batería de servicio alcance una tensión igual o superior a 13,4 V conecte la batería auxiliar al alternador, y mientras la tensión esté por encima de dicho voltaje, cargará as dos baterías. Cuando baje la tensión desconectará la auxiliar de la de servicio para así evitar problemas de descarga de la batería de servicio, o con los sistemas de START-STOP en los vehículos que lo posean.

En ningún caso la batería auxiliar se instalará en un recorto, caja o habitáculo hermético, disponiendo siempre de un respiradero al exterior del vehículo. Se impedirá que los vapores que pueda producir la batería auxiliar por funcionamiento normal o anormal puedan acceder al habitáculo de policías y de detenidos.

9.2.- Señalización luminosa de emergencia

9.2.1.- Puente luminoso

El dispositivo estará dotado de los elementos necesarios para emitir tanto la señal acústica como luminosa que describe el Reglamento General de Circulación vigente en referencia a la señal V1 para vehículos de servicio de urgencia.

Se instalará sobre el techo del vehículo y en los montantes superiores, de forma que permita advertir eficazmente en un radio de 360° al resto de usuarios de la vía pública, de la localización de una situación de peligro o emergencia.

El puente será de plástico inyectado o termoconformado, translúcido de color azul-policia y constará de un sólo módulo o de módulos independientes o unidos entre sí, presentando la siguiente configuración:

- Por razones aerodinámicas y de visibilidad operativa, su diseño será, preferentemente, en forma de "V". Dada la evolución técnica de los mismos, durante la presentación del prototipo se podrán ofertar otros puentes que, cumpliendo con las razones antes



expuestas, tengan distinta morfología, los cuales, previo estudio de idoneidad solo se podrá proceder a su montaje final previa autorización expresa del Área de Automoción.

- La longitud del puente será como máximo el ancho del techo del vehículo, no permitiéndose que sobresalga en su plano horizontal.
- La tecnología de iluminación utilizada en la totalidad del puente será Led, con un mínimo de intensidad luminosa de 160 candelas en el eje de cero grados vertical.
- La señal V1 óptica será de color azul-policia y de forma destellante, con una frecuencia comprendida entre 120 y 240 destellos por minuto y la señal V3 será azul policia no destellante. Ambas señales serán visibles en un radio de 360° indicando la presencia de un vehícu o policia.
- La señal V1 acústica: El puente de luces alojará al menos un altavoz que emitirá principalmente la propagación hacia la parte delantera y laterales del vehículo y con una capacidad sonora de 110 dB., indicándose el tipo de sirenas y la modulación de la señal acústica en el apartado 10.2. (Sirena).
- La señal V2 (óptica); visible en un radio de 180° desde la parte posterior del vehículo de forma intermitente (no rotativa), indicando la presencia de un peligro en la vía para el tráfico.
- Iluminación lateral: En el lado derecho e izquierdo del puente se alojará un módulo de iluminación fija, color blanco, con una capacidad no inferior a 60.000 Lux medidos a una distancia de 30 cm. con un ángulo de iluminación paralelo a la horizontal del vehículo, con un ángulo de apertura del haz apto para visibilizar a distancias de aproximadamente 30 m.
- Iluminación delantera: En la parte delantera del puente se alojarán al menos dos módulos con la función de iluminación fija e intermitencia alternada de color blanco, con una elevada capacidad de iluminación, en un ángulo de iluminación paralelo a la horizontal de. vehículo.

En cualquier caso el puente y sus mecanismos deberán de estar debidamente homologados, probados y admitidos como válcos, una vez comprobada su efectividad en la presentación del prototipo.

La alimentación del puente se realizará a través de un conector empotrado en el techo y estanco, situado en la zona inferior al puente.



La composición y distribución de las luces integrantes del puente luminoso, estará conformada según lo establecido en el Reglamento General de Vehículos.

Con carácter general todos los módulos deberán cumplir con la reglamentación existente y en especial la R65 Directivas de compatibilidad electromagnética 2004/104/EC y 2006/28/EC.

Los módulos luminosos tienen que tener una protección IP54 (resistencia al agua de lluvia y puentes de lavado), y llevar una adecuada protección eléctrica de forma controlizada.

9.2.2.- Lanza destellos laterales.

En la parte delantera de las aletas de cada lateral se instalará un módulo que emita luz de doble destello (o efecto estroboscópico) mediante leds de color azul policial ubicados a una altura igual o superior a la zona media del haz de luz de la correspondiente a los faros delanteros del vehículo.

Si como consecuencia del diseño del vehículo no pudiera situarse a la altura mencionada, su ubicación se definirá en la presentación del prototipo por los Técnicos de Área de Automoción.

La frecuencia del destello deberá estar comprendida entre 120 y 240 destellos/minuto.

9.2.3.- Señalización con portón abierto

• En el interior del portón trasero y en cada uno de los extremos de la base inferior del mismo (para que cuando esté abierto estos se divisen como la parte más elevada), se instalarán dos módulos de leds de luz azul policial, cuyo haz de luz forme un ángulo de 90º con la vertical y con función estroboscópica, que se activarán cuando se abra éste, siempre que la señalización de emergencia o control estén activadas. La frecuencia del destello deberá ser superior a 60 destellos/minuto.

9.2.4.- Sistema de Iluminación Alternativa (S.I.A.)

Este sistema consistirá en el encendido de forma alternativa de dos lanza destellos de color blanco situados en la zona frontal de vehículo.

Deberá actuar automáticamente al activar la "función de emergencia", siempre que el freno de mano no se encuentre accionado.



9.3.- Sirena.

Sirena electrónica con megafonía y mando remoto, compuesta de amplificador electrónico, micrófono, panel de mandos y un altavoz.

La sirena tendrá las siguientes características:

- Potencia mínima de salida 100 W RMS.
- Megafonía prioritaria sobre sonidos de sirena.
- Potencia de megafonía, con menos del 10% de distorsión 50 W RMS.
- Sonidos de sirena:
 - Sirena I (ulular): Variación continua de tono entre 800 y 1350 Hz.
 - Sirena II (ladrado): Variación entre 800 y 1350 Hz.
 - Sirena III (dos tonos). Uno de los tonos 450 Hz. y el otro de 800 Hz.
- Niveles sonoros de pico medidos en cámara anecoica a 1 m. para 13,5 V de tensión de alimentación.
 - Sirena I: 126dB (A)
 - Sirena II: 126dB (A)
 - Sirena III: 125dB (A)

La sirena realizará, además, las siguientes funciones:

- Control de volumen con megafonía.
- Modulación manual y cambio de sirena con el claxon del vehículo.
- Dispositivo de funcionamiento nocturno mediante un atenuador, para adecuar la potencia sonora a la normativa municipal en cada caso.

El micrófono correspondiente a la megafonía se ubicará en una zona del habitáculo delantero, de fácil manejo a los ocupantes de los asientos delanteros, pudiendo estar integrado en la consola de mando.

La megafonía dispondrá de un pulsador ubicado en el micrófono o en la consola de mando que al accionarlo activará la "función megafonía", cuando la consola se encuentre encendida. La función megafonía se realizará con el mismo altavoz que se utiliza para la sirena.



9.4.- Consola de mando del Kit Policial.

Este dispositivo centralizará el control de mando de los diferentes elementos electrónicos que componen el Kit Policial.

Dispondrá de un soporte firmemente sujeto en la consola central del vehículo, que permita tanto una robusta sujeción de mando del kit, así como la extracción y colocación del mismo con facilidad, en caso de ser extraíble. Además, el soporte presentará una gran solidez que permita pulsar los botones del mando sin que se mueva.

En cuanto a la ubicación de su soporte, deberá adecuarse a los siguientes requisitos:

- Se encontrará alojado en la zona central del salpicadero.
- No debe dificultar la conducción del vehículo.

No debe interferir en el correcto funcionamiento, ni en el control de los diferentes elementos que presente el vehículo de serie.

- Debe permitir que los pulsadores sean perfectamente visibles, legibles y accesibles, tanto desde la posición normal del conductor como desde la del acompañante sin la necesidad de separar la espalda del asiento.

En todo caso la ubicación final, será determinada siguiendo los criterios anteriores por el Área de Automoción.

Aspectos generales referentes al funcionamiento de la consola de mando:

- Todos los pulsadores deben poder realizar sus funciones independientemente de los demás, a excepción de las incompatibilidades de funcionamiento referenciadas más adelante, en la descripción de cada uno de ellos.

- Al apagar la consola de mando desconecta todas las funciones que se encuentren activas, sin memorizar las funciones, de forma que cuando se enciende la consola de mando, todas las funciones se encuentren desactivadas excepto el propio encendido de la consola de mando.

- Cuando se enciende la consola de mando, y no se encuentra ninguna otra función activada es indicativo de que



1º. Todas las luces del puente se encuentran desconectadas, a excepción de la luz de posición V3 del vehículo de servicio de Policía, siempre que se encuentren activadas simultáneamente la luz de posición del vehículo y la consola de mando siendo este modo de funcionamiento el habitual, y por tanto, no mostrando indicación alguna en el pulsador de desconexión instalado al efecto.

2º Se encuentran cerrados y bloqueados: amerc, puertas posteriores y cinturones de detenidos.

3º Todos los demás elementos de iluminación y funciones dependientes de la consola de mando se encuentran desconectados.

- Todos los pulsadores estarán dotados de un sistema de retroiluminación mínima, que se active al encender la consola de mando, de forma que permita visualizar correctamente todas las funciones en condiciones de baja luminosidad. El nivel de retroiluminación mínima será similar al que incorpora un vehículo de serie en los pulsadores de accionamiento de la consola central.

Aviso de la función activada. Se puede realizar de dos modos:

- En el caso de que sea el área del icono el que se ilumina, será necesaria la incorporación de un led en cada pulsador con iluminación fija, para indicar el estado de activación, o bien mediante un procedimiento de advertencia que haga más visible y destacable la activación respecto a los pulsadores no activos, como por ejemplo la iluminación del contorno exterior del botón.

- En el caso de que la retroiluminación corresponda a toda el área del pulsador, para indicar el estado de activación, se utilizará el método del aumento de intensidad de manera intermitente, con una frecuencia de 1 ciclo/segundo, y permitiendo la correcta lectura de la serigrafía, para todas las situaciones de iluminación exterior.

- El aviso de la función activada no actuará en aquellas funciones en las que se especifique que no disponen de la luz de aviso.



- El tamaño, disposición y senografía permitirán su utilización de forma sencilla o intuitiva.

Este dispositivo presentará los siguientes pulsadores y funciones correspondientes:

1. ENCENDIDO Y APAGADO DE LA CONSOLA DE MANDO



Enciende la consola de mando.

El pulsador no dispone de la luz de aviso. Se ilumina de forma fija (no intermitente) con la retroiluminación mínima general cuando la consola de mando se encuentra encendida.

2. SEÑAL V1 LUMINOSA Y ACÚSTICA



Activa las siguientes funciones:

- Señal V1 acústica y luminosa, de vehículo prioritario de servicio de Policía.
- Señal luminosa de color ámbar con funcionamiento intermitente, visible desde la parte posterior del vehículo.
- Señal luminosa blanca frontal de puerta de luces (es la misma que la correspondiente a la luz de inspección delantera, pero de forma intermitente).
- Señal de S.I.A.

El pulsador dispone del aviso de la función activada. Una vez se encuentra activada, se desactiva cuando se pulsa este pulsador de nuevo, o bien cuando se activa la función 3. Cuando se activa esta función se desactiva la función 9. Cuando el freno de mano se encuentra activado se desconecta el S.I.A. y la señal acústica.

3. SEÑAL V1 LUMINOSA



Activa la señal V1 luminosa, la luz de color ámbar y las luces blancas frontales y las correspondientes al S.I.A.

El pulsador dispone del aviso de la función activada.

Una vez se encuentra activada, se desactiva cuando se pulsa este pulsador de nuevo, o bien cuando se activa la función 2.

Cuando se activa esta función se desactiva la función 9.

4. ATENUADOR V1 ACÚSTICO



Activa el atenuador de la señal V1 acústica cuando la función 2 se encuentra previamente activada.

Si la función 2 no se encuentra previamente activada, permanece en espera de forma que al activar la función 2 se inicia con atenuación acústica.

El pulsador dispone del aviso de la función activada.

5. CAMBIO DE TONO



Activa el cambio de tono cuando la función 2 se encuentra activada.

El pulsador no dispone del aviso de la función activada.

Esta función también es realizada por el claxon del vehículo.



6. INSPECCIÓN DELANTERA



Activa la iluminación delantera blanca del puente de luces.
El pulsador dispone del aviso de la función activada.
Esta función se desconecta cuando se activan las funciones 2 ó 3.

7. INSPECCIÓN DERECHA



Activa la iluminación derecha blanca del puente de luces.
El pulsador dispone del aviso de la función activada.
Esta función se desconecta cuando se activan las funciones 2 ó 3.

8. INSPECCIÓN IZQUIERDA



Activa la iluminación izquierda blanca del puente de luces.
El pulsador dispone del aviso de la función activada.
Esta función se desconecta cuando se activan las funciones 2 ó 3.

9. DESCONEXIÓN DE LUZ V3 DE POSICIÓN DE VEHÍCULO EN SERVICIO POLICIAL.



Desconecta la luz de posición V3 de vehículo en servicio policial (luz azul fija).
La luz V3 de posición de vehículo en servicio policial se enciende automáticamente cuando se encuentran encendidas la luz de posición del vehículo y la consola de mando. Cuando se activa el pulsador de desconexión de la luz V3, se desconecta la luz azul fija y se enciende el aviso de la función activada en el pulsador. Con una nueva pulsación se vuelve a conectar la luz de posición V3 y se apaga la luz de aviso correspondiente en el pulsador.
Esta función se desconecta cuando se activan las funciones 2 ó 3.

10. CONEXIÓN RADIOCOMUNICACIONES CON MEGAFONÍA.



La señal del audio del radioteléfono se reproduce a través del altavoz.
El pulsador dispone del aviso de la función activada.

11. CIERRE DEL ARMERO.



Desbloquea el armero durante 10 segundos.
El pulsador dispone del aviso de la función activada cuando el armero se encuentra desbloqueado.
Solamente actúa cuando la llave del vehículo se encuentre en posición de contacto.



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISION ECONOMICA Y TECNICA
AREA DE AUTOMOCION

12. LUZ HABITACULO DETENIDOS.



Enciende la luz del habitáculo de detenidos.

El pulsador dispone del aviso de la función activada, cuando la luz se encuentra encendida.

13. BLOQUEO CINTURONES PLAZAS DETENIDOS



Desbloquea los cinturones de las plazas de los detenidos.

El pulsador dispone del aviso de la función activada, cuando los cinturones se encuentran desbloqueados.

Solamente actúa cuando la llave del vehículo se encuentre en posición de contacto.

14. APERTURA / CIERRE PUERTAS HABITÁCULO DETENIDOS.



Cuando se activa el pulsador, desactiva el cierre eléctrico de las puertas del habitáculo de detenidos permitiendo su apertura desde el exterior, y simultáneamente activa la función luz habitáculo detenidos.

El pulsador dispone del aviso de la función activada, cuando el cierre se encuentra desbloqueado.

Solamente actúa este pulsador, cuando la llave del vehículo se encuentre en posición de contacto.

La apertura de las puertas posteriores puede realizarse mediante:

- Mando del cierre centralizado del vehículo.
- Pulsador correspondiente en la consola de mando.
- Pulsador de accionamiento conjunto en pilar central.
- Tirador de emergencia.

Las puertas posteriores deben bloquearse automáticamente cuando encontrándose abiertas, se retira el contacto o se desconecta la consola de mando.

15. VENTILADOR DE HABITÁCULO DE DETENIDOS.



Enciende la ventilación correspondiente al habitáculo de detenidos.

El pulsador dispone del aviso de la función activada, cuando el ventilador se encuentra encendido.

16. DISMINUCIÓN DE VOLUMEN DE MEGAFONÍA.



Reduce el volumen de la megafonía con cada pulsación.

El pulsador no dispone del aviso de la función activada.

No es necesario incorporarlo en consolas de mando provistas de rueda de regulación.



17. AUMENTO DE VOLUMEN DE MEGAFONÍA.



Aumenta el volumen de la megafonía con cada pulsación.

El pulsador no dispone del aviso de la función activada.

No es necesario incorporarlo en consolas de mando provistas de rueda de regulación.

18. MEGAFONÍA.



Activa el micrófono y la megafonía solamente mientras se mantiene pulsado.

El pulsador no dispone del aviso de la función activada.

No es necesario incorporarlo en las consolas de mando que lo incorporen en el lateral.

Asimismo, la consola de mando del Kit Policial podrá presentar además de los reseñados, otros que realicen funciones adicionales.

Para economizar consumos, activadas la señal V1 luminosa y acústica, se instalará un dispositivo que conmute dichas luces a la posición de V1 luminosa (desconectando el S.I.A. y la señal acústica) una vez que se active el freno de mano, pudiéndose activar la señal V1 luminosa y acústica en su pulsador correspondiente.

Distribución, tamaños y colores de los pulsadores:

- Los pulsadores deben agruparse siguiendo un orden lógico e intuitivo en relación a su función. La ordenación del conjunto de pulsadores se establecerá teniendo en cuenta que en el caso de los módulos colocados verticalmente, sean los pulsadores superiores y de izquierda a derecha, los correspondientes a la activación de la señal V1 vehículo policial en servicio prioritario, tanto la luminosa como la acústica, y en el caso de las botoneras posicionadas horizontalmente, sean los pulsadores de la izquierda los correspondientes a las funciones señaladas anteriormente. Por tanto, el pulsador número 2 debe localizarse en la zona superior izquierda de la consola de mando. Junto al mismo se colocarán los pulsadores 3, 4 y 5.

- En el caso de que existan diferentes tamaños para los pulsadores, se seguirán los criterios del punto anterior, siendo los de mayor tamaño los correspondientes a la activación de la señal V1 (vehículo prioritario de servicio policial).

- El botón de encendido/apagado debe ubicarse en un extremo de la consola de mando, claramente diferenciado, bien por su ubicación o bien por disponer de diferente color.

- Los pulsadores 6, 7 y 8 deben estar agrupados.

- Los pulsadores 12, 13, 14 y 15 deben estar agrupados.



- Los iconos descritos se han representado en blanco sobre fondo negro, pudiéndose optar por otros colores, siempre que se respete el diseño iconográfico especificado.

Cualquier característica que difiera de lo anteriormente expuesto, debe ser consultada a los Técnicos del Área de Automoción.

9.5.- Linternas

Cada vehículo irá equipado con dos linternas con sus correspondientes cargadores. Tendrán una protección IP54 (resistentes al agua) y de tecnología de iluminaciones Led, con una capacidad de iluminación de al menos 60.000 Lux., medidos en el centro del haz de luz a una distancia de 30 cm.

El haz de luz será homogéneo tolerándose una mínima disminución de la capacidad de iluminación en el centro del haz y perímetro

El sistema de almacenamiento de energía podrá ser mediante batería, sin efecto memoria, o condensadores de alta capacidad.

Las linternas presentarán al menos dos funciones:

1. Función de iluminación con una autonomía mínima de 45 minutos y una pérdida máxima de iluminación del 15% respecto del valor máximo.
2. Función de señalización con una autonomía mínima de 3 horas para 20.000 Lux a 30 cm.

Las linternas dispondrán de un soporte cargador inteligente, mediante el cual se cargará el elemento de almacenamiento de energía del que se dote a las linternas. La función de carga se activará cuando la llave del vehículo se encuentre en la posición de contacto, que se indicará mediante un testigo luminoso y una vez que se alcance la carga completa, la cual se indicará mediante un testigo luminoso, se pasará a la función de mantenimiento de carga. Esta señalización mediante testigos luminosos diferenciará el estado de "carga" del estado de "carga completa". Estas dos funciones las realizará el cargador de forma automática, sin necesidad de extraer las linternas o accionar ningún selector de función.

En cualquier caso el tiempo de carga máximo en funcionamiento normal será inferior a 3 horas.



La fuerza total necesaria para extraer o introducir las linternas en el soporte cargador, será inferior a 150 N. y superior a 60 N.

El vehículo debe incorporar dos linternas para utilización como equipo auxiliar, alimentadas por contacto, estando cada una de ellas compuesta por los siguientes elementos:

- La linterna propiamente dicha.
- Soporte con cargador individual incorporado, el cual irá conectado a la instalación de 12 V. del vehículo, y será del sistema llamado "inteligente", de forma que corte la corriente que llega a las baterías cuando éstas estén cargadas.
- Cono de señalización de color amarillo, traslúcido y de fácil instalación, sin tener que manipular la linterna; para señalización de emergencias, con soporte adecuado y ubicado en el maletero.

Las características que deben reunir cada linterna y su instalación son las siguientes.

- Cuerpo y cabezal resistente a los golpes. El anagrama del Cuerpo Nacional de Policía y el número de serie de fabricación estarán grabados en dicho cuerpo.
- Baterías herméticas recargables sin efecto memoria o condensadores.
- Enfoque ajustable.
- Led indicador de carga.
- Con una protección IP54 (resistente a la lluvia).
- Sistema de iluminación con un Led para la función de iluminación y una corona de leds para la función de señalización, o un Led que realice ambas funciones.
- Autonomía mínima de 45 minutos a máximo nivel, y 3 horas a nivel bajo.
- La longitud y el peso máximos de la linterna deberán ser 40 cm. y 900 gr., respectivamente.

9.6.- Señal de regulación de paso compuesta de stop y sentido obligatorio

Deberá suministrarse con cada vehículo un elemento que permita realizar funciones de regulación de paso, consistiendo en una paleta circular, acoplable directamente a la linterna y sin necesidad de extraer ningún elemento de ésta, que contenga en una cara la señal de "DETENCIÓN OBLIGATORIA o STOP" (R-2) y en la otra la de "SENTIDO OBLIGATORIO" (R-400c). Los pictogramas de este elemento se ajustarán a lo que especifique el Código de Circulación vigente, siendo visible al menos a 50 m.



El diámetro de este elemento debe estar comprendido entre 180 mm. y 250 mm., y deberá fijado convenientemente en el maletero del vehículo.

9.7.- Armero.

El vehículo será equipado con un armero, el cual deberá ir ubicado en el habitáculo delantero sujeto a la mampara y entre los dos asientos, accionado por un sistema electromecánico que permita a la dotación policial alojar y extraer con facilidad la escopeta del mismo.

Esta escopeta será la homologada por el Servicio de Armamento de la Dirección General de la Policía.

El armero estará compuesto por los siguientes elementos:

- Sistema de cierre con apertura eléctrica y a través de llave con regulación en altura. (Mínimo un juego de dos llaves).

- Base rígida conformada de goma para el apoyo de la culata.

Las características del armero y su funcionamiento, serán las siguientes:

- Fácil acceso para permitir extraer el arma con rapidez.
- Imposibilidad de accionar la corredera del arma cuando la escopeta está alojada en el armero.

- Imposibilidad de retirar el arma a no ser que se introduzca la llave de contacto, se sitúe en la posición de accesorios, y se accione el oportuno interruptor.

El interruptor irá integrado en el panel de mando de la sirena.

- La instalación eléctrica deberá estar oculta y protegida para evitar manipulaciones indebidas.

- El cierre deberá ir acolchado para evitar ruidos y vibraciones, y todo el conjunto deberá estar firmemente sujeto a la estructura metálica.

- Debe ser válido para la escopeta "Franchi", modelo "S.P.S.-350 P.M.". Si hubiese variación en el modelo, este dispositivo se ajustará a las nuevas dimensiones del arma e indicaciones de los Técnicos del Área de Armamento.

9.8.- Interruptor de accionamiento conjunto

Para facilitar la labor de introducción de un detenido, se colocarán sendos interruptores en el interior de cada uno de los pilares centrales, del habitáculo delantero del vehículo, a una



altura conveniente, que realice las siguientes funciones simultáneas, cuando la llave de contacto esté accionada y la consola de mando activada:

- Activación de la luz interior del habitáculo de detenidos.
 - Desbloqueo de puertas traseras.
 - Desbloqueo de cinturones traseros.
- Presionando el mismo interruptor:
- Se apagará la luz interior.
 - Se bloquearán las puertas traseras.
 - Bloqueo de cinturones traseros.

9.9.- Segundo espejo retrovisor para acompañante

- Segundo espejo retrovisor interior para el acompañante, que permita la visión del habitáculo de detenidos, situado próximo al del conductor de forma que no dificulte la visión delantera del conductor ni del acompañante, con un tamaño no superior al retrovisor principal, que no deforme la imagen. El punto de instalación exacto lo determinarán los Técnicos del Área de Automoción en momento de la presentación del prototipo.
- Tanto el espejo del conductor como el del acompañante no serán del tipo panorámico.

9.10.- Fundas en los asientos delanteros

- Los asientos delanteros deberán ser los originales que equie el vehículo. Se instalará una funda perfectamente ajustable a los mismos, de material resistente a los roces de los elementos de dotación policial, la cual dispondrá de su correspondiente homologación, permitiendo el funcionamiento de los airbag laterales. Esta protección presentará una calidad suficiente de forma que no se aprecien signos de deterioro, como zonas de rotura, decoloración, agrietamientos o desprendimientos de la superficie de la misma, durante el tiempo de vigor del contrato. En caso de aparecer cualquiera de estas deficiencias, la empresa adjudicataria a instancias del Área de Automoción deberá sustituir de forma inmediata las fundas deterioradas, cualquiera que sea el lugar de destino de los vehículos en cuestión.

9.11.- Porta-defensas

- Deberán ir provistos de 2 anclajes para las defensas reglamentarias de la dotación policial: guarnecidos o revestidos de un material plástico o similar que evite daños en la



defensa y que permita una fácil extracción. Se colocarán en un lugar accesible y que no dificulte la conducción del vehículo o el accionamiento de los diferentes elementos de control, regulación o seguridad que presente de serie este vehículo.

En la presentación del prototipo, dicha ubicación se podrá variar por indicación de Técnicos del Área de Automoción.

9.12.- Chapa de identificación

En lugar visible del salpicadero se instalará una chapa de identificación de material plástico o similar que indique la matrícula CNP y el número de fecha, presentando una firme unión con el salpicadero que impida el desprendimiento de la misma y no afecte al funcionamiento del airbag; en dicho caso se situará según determinen los Técnicos del Área de Automoción en la presentación del prototipo.

9.13.- Etiqueta de advertencia

Se colocará una etiqueta adhesiva de advertencia, resistente al deterioro y de colores vivos, en lugar visible y con la siguiente leyenda: "DESCONECTAR TODOS LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS AL FINALIZAR EL SERVICIO".

9.14.- Material policial auxiliar

- Dos chalecos reflectantes homologados con arreglo a la norma EN-471 y aprobada por la Unidad de vestuario del C.N.P. Serán suministrados con su bolsa individual.
- Un rollo de 100 m de cinta de balizamiento con la leyenda en color azul: "CNP. Escudo corporativo LINEA DE POLICIA. NO PASAR" y con dosificador.
- Una palanca metálica resistente de aproximadamente 500 mm de longitud de las denominadas uñetas o "pata de cabra".
- Dos tetrápodos o dos conos de balizamiento.
- Una manta térmica.

Todos estos elementos (excepto los chalecos reflectantes), así como la señal de STOP y los conos de señalización de las linternas, deberán ir alojados y sujetos en el maletero, de forma que dejen libre el mayor espacio posible para otros equipos.

- Triángulos de pre señalización de peligro con las siguientes características:
 - Cumplirán con las especificaciones técnicas establecidas en el Reglamento General de Vehículos, y en el Reglamento ECE número 27.
 - Tendrán una superficie de apoyo metálica, consistente y pesada.



- La parte fluorescente roja interior del triángulo será de material rígido.
- El conjunto triángulo-superficie de apoyo será plegable, contando con dos posiciones fijas, (abierto/cerrado), contendrán la leyenda "C. N. POLICIA" troquelada y serigrafiada en la parte posterior de uno de los lados del triángulo, resultando visible en la posición "cerrado" del mismo, con unas dimensiones mínimas de 150 x 40 mm.
- Los dos triángulos deberán ir a ojados en un solo contenedor en su posición de plegados. Además, deberá incorporar una cinta de tipo "velcro" o cualquier otro sistema que permita la fijación del mismo en el revestimiento del maletero del vehículo.

9.15.- Preinstalación del radioteléfono móvil de la emisora policial.

Los vehículos irán dotados del kit de radio-transceptor policial, cuya composición y características serán las siguientes:

- Antena : deberá ser tipo tribanda (radio UHF, GPS y GSM) con las siguientes características:
 - La parte de radio cubrirá el segmento de banda de 380-400 MHz, será omnidireccional, tendrá una medida de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, una impedancia de 50 Ohms y aguantará un mínimo de 25W radiados.
 - La parte de GSM cubrirá las bandas de telefonía celular de 900 y 1800 MHz.
 - Los cables de antena serán RG-58/U o de características idénticas y terminarán en conector TNC macho (cable radio), conector SMA macho (GPS) y conector SMA (GSM) respectivamente. Igualmente cada cable irá identificado en su final, así como que sobrarán unos 80cms de cable en el maletero para poder realizar los distintos montajes y un mínimo de 20cms de cable en el techo para poder manipularlo en caso de avería y sustitución de la base de la antena.
 - Montaje de la antena desde el exterior del vehículo.
- Cable de alimentación rojo/negro de 2 mm. de diámetro desde la batería al maletero, con terminales de pines hembras. Dicho cable deberá cumplir las normas UNE. Para la protección del radio-transceptor policial se instalará un fusible de 10 A. centralizado sin pasar por ningún relé de corte de corriente.



- Soporte de anclaje (suministrado por la empresa adjudicataria) para frontal del equipo de radio (CCP) en la parte delantera del vehículo, así como soporte de anclaje (suministrado por el CNP) para el bloque emisor-receptor (BER) en la parte posterior del vehículo (consultar lugar al Área de Telecomunicación, indicando los técnicos del Área de Automoción el lugar exacto). En su momento se indicará el modelo de radio a embarcar en cada uno de los vehículos.
- Altavoz de 15 W, 4 ó 5" y 4 ohm de impedancia y cableado para dicho altavoz en manguera de dos hilos (azul/marrón), de 1 mm² de sección y 1,50 m. de longitud, terminado en pines hembras en uno de los extremos, a ubicar en la zona derecha en las proximidades del radioteléfono.
- Soporte para micrófono, indeformable en plástico o hierro acerado, homologado para equipos radio de la Dirección General de la Policía.
- La toma de alimentación se realizará a través de la batería auxiliar.
- La toma de alimentación estará protegida con un fusible de 10A y el cable tendrá instalado un conector tipo clema de alimentación, identificando en ésta el positivo y negativo, para alimentación de sistemas de radiocomunicaciones auxiliares. Al menos quedará libre un metro de cable a fin de poder mover éste a la zona necesitada.
- En el fondo del maletero, detrás del respaldo del asiento posterior, se alojarán los sistemas de comunicaciones y sistemas auxiliares. Dichos sistemas estarán protegidos por un compartimento cerrado, cuyas dimensiones deberán ser de 60 cm. en anchura, por 40 cm. de alto y con una profundidad decreciente de 11 cm. en la parte inferior a 6 cm. en su parte superior.
- En la sujeción de este compartimento, así como su tapa correspondiente, no se utilizarán los remaches en flor o de otras características que pudieran dañar el cableado o equipo que se instale en su interior.
- La tapa de cierre, debe ir con tornillos (a ser posible de estrella) y sobre la parte fija, tuercas fijas, de tal modo que no se puedan desmontar en el caso de ejercer más presión a la hora de apretar los tornillos.
- Entre la chapa de sujeción de los elementos de radio (bancada soporte de BER y sistema AVL) y el asiento trasero (de los detenidos) ha de llevar una tabla de madera, de tal



manera que los tornillos nunca lleguen a traspasar el asiento de los detenidos cuando se fijen dichos elementos de radio.

Su instalación deberá ser verificada y cumplir estrictamente las indicaciones que faciliten los Técnicos del Área de Telecomunicaciones del Cuerpo Nacional de Policía.

9.16.- Preinstalación para sistema TIC.

- Para facilitar la alimentación de posibles sistemas TIC, se instalará en el vehículo un cable de alimentación que irá desde la batería auxiliar a la parte central inferior del salpicadero del vehículo, con capacidad para un consumo de 50 W. Esta línea de alimentación tendrá una protección eléctrica mediante un fusible exclusivo, alojado en la caja de fusibles del registro del maletero del vehículo. En la parte inferior del salpicadero quedará un metro de cable a fin de poder mover éste a la zona necesitada.

10.- EQUIPAMIENTO COMPLEMENTARIO

Los vehículos deberán equiparse con los elementos y accesorios que a continuación se citan, salvo que los mismos vengán incluidos en la dotación de serie del automóvil:

- Extintor de polvo ABC de 6 Kg. recargable, dotado de manómetro y soporte que proporcione buena fijación.
- Un martillo para rotura de lunas el cual llevará incorporada una cuchilla para el corte del cinturón de seguridad, y será ubicado en uno de los pilares o en el lugar que se considere más idóneo y a determinar por los Técnicos del Área de Automoción en la presentación del prototipo.
- Protector metálico del cárter de motor, con acceso al tapón de vaciado del cárter y/o al filtro de aceite en su caso.
- Contenedor, bolsa o almacenamiento, con los útiles necesarios para el cambio de ruedas.
- Kit de herramientas y útiles que se definen en el Reglamento General de Vehículos.
- Los vehículos deben incorporar un juego de alfombras de goma, que serán originales cuando el fabricante las ofrezca como opción, y universales cuando no se disponga de esa posibilidad.



- Se colocará en la parte derecha del salpicadero una pinza o elemento de sujeción para la fijación de documentos, siempre que no afecte al funcionamiento del airbag; en dicho caso se situará según determinen los Técnicos del Área de Automoción en la presentación del prototipo.

- Lector de mapas con brazo flexible y cabezal con luz situado en el pilar delantero derecho. La tecnología de iluminación utilizada será Led, de color blanco.

11.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Todo cableado eléctrico o elemento eléctrico, instalados en la transformación del vehículo deberán cumplir el vigente reglamento electrotécnico de baja tensión, para instalaciones eléctricas clasificadas como: muy baja tensión.

Los conectores utilizados para la instalación eléctrica de cableados y componentes serán estandarizados aptos para la automoción, de tipo rápido, multivías y pudiendo ser de tipo aéreo.

Todo cable que atraviese una chapa metálica estará provisto de pasacables.

La distribución e instalación de cableados en el interior del vehículo se realizará siguiendo las siguientes premisas:

1º.- Todos los cableados quedarán convenientemente ocultos y protegidos, sin posibilidad de que puedan rozarse o dañarse con el normal uso del vehículo.

2º.- Como elementos de protección se utilizarán fusibles de tipo ATO normal (fusible para automoción tipo normal - fusible de lámina o cuchilla), y se ubicarán en el maletero del vehículo, en el registro de componentes eléctricos, en la caja de fusibles instalada a tal efecto, no admitiéndose como norma general fusibles aéreos o de difícil localización.

3º.- La instalación de cableado que deba pasar del maletero al habitáculo de policías, se realizará a través del registro que debe tener el habitáculo de detenidos destinado a tal fin y especialmente los cableados destinados al sistema de radio-comunicaciones.

12.- PRESENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Las transformaciones objeto de este Pliego de Prescripciones Técnicas deberán ser validadas por los Técnicos del Área de Automoción, con lo que antes de iniciarse éstas, el personal de la Empresa que resulte adjudicataria deberá reunirse con los Técnicos, con objeto de unificar criterios y concretar todos aquellos aspectos de menor entidad, no definidos en este documento.



De acuerdo con estos criterios, la empresa adjudicataria equipará completamente una unidad con los elementos y accesorios indicados en este Pliego de Prescripciones Técnicas, realizando técnicos de esta Área las inspecciones que consideren oportunas para corroborar la correcta ubicación de los equipos y montajes realizados, hasta su completa terminación.

Con cada vehículo presentado, la empresa adjudicataria proporcionará:

- Manual de uso y mantenimiento de vehículo, proporcionado por el fabricante.
- Manual de uso y mantenimiento del kit policial, proporcionado por la empresa transformadora.

Además, con cada prototipo la empresa suministradora debe proporcionar un completo dossier donde se incluya, en relación a los siguientes apartados, la siguiente documentación:

- Pintura exterior del vehículo:
 - Marca, y código de color con su RAL.
 - Características de aplicación de la pintura (monocapa, bicapa, tricapa,...)
- Rotulación exterior:
 - Vinilos: referencia, color.
 - Plano de dimensiones.
 - Certificados de homologación.
- Láminas de seguridad y oscurecimiento en las ventanillas del vehículo:
 - Se entregará una muestra de las láminas utilizadas.
 - Vinilos: referencia, color.
 - Plano de dimensiones.
 - Procedimientos de aplicación.
 - Certificados de homologación.
- Blindaje de puertas delanteras y mampara central:
 - Planos de despiece.
 - Tipo de material y características.
 - Dimensiones.
 - Proceso de montaje.
 - Pese de las puertas, antes y después del blindaje.
 - Normativa.
 - Certificados de homologación.



- Puente de luces de emergencia.
 - Planos del despiece.
 - Proceso de instalación en el vehículo y de su cableado.
 - Esquema del conexionado eléctrico.
 - Características eléctricas y físicas del puente.
 - Normativa
 - Certificados de homologación.
- Linternas.
 - Características eléctricas: autonomía, sistema de almacenamiento de energía.
 - Características físicas de las mismas: iluminación, estanqueidad, resistencia a los golpes.
 - Descripción de los procesos de instalación y montaje.
 - Normativa
 - Certificados de homologación.
- Kit del habitáculo de determinados.
 - Material utilizado, características del mismo y proceso de fabricación.
 - Plano de dimensiones y despiece.
 - Detalle de montaje del mismo.
 - Descripción de los procesos de instalación y montaje.
 - Normativa.
 - Certificados de homologación.
- Elementos eléctricos y electrónicos.
 - Esquema de conexionado.
 - Esquema eléctrico.
 - Normativa.
 - Características eléctricas

No será aceptado ningún vehículo que exteriormente presente otras marcas, logotipos o anagramas diferentes a los propios de la Corporación Policial, con excepción de los incorporados de serie por el fabricante del vehículo.

Inspeccionado y aprobado el prototipo, la empresa adjudicataria, realizará en otros vehículos las correspondientes instalaciones, con montajes idénticos a los efectuados en el prototipo.



Antes de la recepción oficial y de la entrega del material, el Área de Automoción de la Dirección General de la Policía, realizará cuantas inspecciones considere oportunas, para comprobar el estado de la transformación de los vehículos y verificar la correcta ubicación y funcionamiento de los equipos instalados, así como la decoración en lo referente a la imagen policial.

Las deficiencias encontradas serán subsanadas antes de su entrega en instalaciones policiales.

13.- DOCUMENTACIÓN A ADJUNTAR Y GARANTÍA

Con cada vehículo suministrado se entregará la siguiente documentación:

- Copia compulsada de la ficha técnica, una vez pasada la Inspección Técnica de Vehículos (I.T.V.), en la que se recojan las transformaciones realizadas en el vehículo.
- Guía de despiece y tarifa PVP de los componentes del kit policial.
- Manual de uso y mantenimiento del vehículo, proporcionado por el fabricante del vehículo de serie.
- Manual de uso y mantenimiento del "kit policial", proporcionado por la empresa transformadora: se adjuntará a la documentación del vehículo un dossier de la transformación efectuada, y un croquis de la instalación eléctrica, en el que conste la marca y modelo o referencia de los equipos instalados. La mencionada información y documentación requerida (excepto los manuales del vehículo, que serán los originales) se facilitarán en una carpeta de anillas o encuadernada a gusanillo, tamaño A5 (cuartilla), y en dicho dossier deberá figurar la empresa transformadora del vehículo, así como la dirección y el teléfono de contacto de la misma.

Además, con cada prototipo la empresa suministradora debe proporcionar un completo dossier donde se incluya, en relación a los siguientes apartados, la siguiente documentación:

- Pintura exterior del vehículo:
 - Marca, y código de color con su RAL.
 - Características de aplicación de la pintura (monocapa, bicapa, tricapa,...)



- Rotulación exterior.
 - Vinilos: referencia, color.
 - Plano de dimensiones.
 - Certificados de homologación.
- Láminas de seguridad y oscurecimiento en las ventanillas del vehículo.
 - Se entregará una muestra de las láminas utilizadas.
 - Vinilos: referencia, color.
 - Plano de dimensiones.
 - Procedimientos de aplicación.
 - Certificados de homologación.
- Blindaje de puertas delanteras y mampara central:
 - Planos de despiece.
 - Tipo de material y características.
 - Dimensiones.
 - Proceso de montaje.
 - Peso de las puertas, antes y después del blindaje.
 - Normativa.
 - Certificados de homologación.
- Puente de luces de emergencia.
 - Planos del despiece.
 - Proceso de instalación en el vehículo y de su cableado.
 - Esquema del conexionado eléctrico.



- Características eléctricas y físicas del puente.
- Normativa
- Certificados de homologación.
- Linternas
 - Características eléctricas: autonomía, sistema de almacenamiento de energía.
 - Características físicas de las mismas: iluminación, estanqueidad, resistencia a los golpes.
 - Descripción de los procesos de instalación y montaje.
 - Normativa
 - Certificados de homologación.
- Kit del habitáculo de detenidos.
 - Material utilizado, características del mismo y proceso de fabricación.
 - Plano de dimensiones y despiece.
 - Detalle de montaje del mismo.
 - Descripción de los procesos de instalación y montaje.
 - Normativa.
 - Certificados de homologación.
- Elementos eléctricos y electrónicos.
 - Esquema de conexionado.
 - Esquema eléctrico.
 - Normativa.
 - Características eléctricas
- La empresa adjudicataria garantizará el suministro de piezas de recambio del automóvil.



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL DE LA POLICÍA

DIVISIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA
ÁREA DE AUTOMOCIÓN

del blindaje o de los elementos que forman el equipamiento, al menos durante cinco años, a partir de la fecha en que el modelo del vehículo deje de fabricarse o experimente variaciones en sus características.

- Los previsibles avances de la técnica permitirán a la citada empresa ofrecer a la Administración, previa comunicación, la posibilidad de cubrir la referida garantía con materiales o elementos de superiores características, siempre que las mismas estén debidamente homologadas.

Madrid, 31 de enero de 2017

EL JEFE DEL ÁREA DE AUTOMOCIÓN EN FUNCIONES



Fdo.: Mario García Colorado



ANEXO I

COMISARÍAS PROVINCIALES

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1. Madrid | 27. Pontevedra |
| 2. Barcelona | 28. Burgos |
| 3. Valencia | 29. Salamanca |
| 4. Sevilla | 30. Lleida |
| 5. Málaga | 31. León |
| 6. Las Palmas de Gran Canaria | 32. Girona |
| 7. Alicante | 33. Jaén |
| 8. Palma de Mallorca | 34. Albacete |
| 9. Granada | 35. Castellón |
| 10. Zaragoza | 36. Melilla |
| 11. A Coruña | 37. Ceuta |
| 12. Santa Cruz de Tenerife | 38. Ourense |
| 13. Murcia | 39. Vitoria |
| 14. Córdoba | 40. San Sebastián |
| 15. Oviedo | 41. Palencia |
| 16. Valladolid | 42. Lugo |
| 17. Bilbao | 43. Ciudad Real |
| 18. Pamplona | 44. Cáceres |
| 19. Toledo | 45. Zamora |
| 20. Santander | 46. Guadalajara |
| 21. Logroño | 47. Huesca |
| 22. Baza | 48. Cuenca |
| 23. Cádiz | 49. Segovia |
| 24. Almería | 50. Ávila |
| 25. Tarragona | 51. Soria |
| 26. Huelva | 52. Teruel |

A N E X O II (nomenclación solo a efectos orientativos)
TIPO "Z"

